



LAPORAN TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 144542

ANALISIS STABILITAS MAIN DAM PADA WADUK TUKUL PACITAN JAWA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI GEO-STUDIO

DISUSUN OLEH :

ARIEF YUDHO WICAKSONO
NRP. 10111715000037

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Ir. KUNTJORO, MT.
NIP. 19580629 198703 1 002

DWI INDRIYANI, ST., MT.
NIP. 19810210 201404 2 001

Program Studi Diploma IV Teknik Sipil
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



LAPORAN TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 144542

ANALISIS STABILITAS MAIN DAM PADA WADUK TUKUL PACITAN JAWA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI GEO-STUDIO

DISUSUN OLEH :

ARIEF YUDHO WICAKSONO
NRP. 10111715000037

DOSEN PEMBIMBING :

Dr. Ir. KUNTJORO, MT.
NIP. 19580629 198703 1 002

DWI INDRIYANI, ST., MT.
NIP. 19810210 201404 2 001

Program Studi Diploma IV Teknik Sipil
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



LAPORAN TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 144542

STABILITY ANALYSIS MAIN DAM ON TUKUL RESERVOIR PACITAN EAST JAVA BY USING GEO-STUDIO APPLICATION

WRITED :

ARIEF YUDHO WICAKSONO
NRP. 1011171500037

SUPERVISOR :

Dr. Ir. KUNTJORO, MT.
NIP. 19580629 198703 1 002
DWI INDRIYANI, ST., MT.
NIP. 19810210 201404 2 001

Program Studi Diploma IV Teknik Sipil
INFRASTRUCTURE CIVIL ENGGINERING DEPARTEMENT
Vocation Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR TERAPAN ANALISIS STABILITAS MAIN DAM PADA WADUK TUKUL PACITAN JAWA TIMUR DENGAN MENGUNAKAN APLIKASI GEO-STUDIO

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar
Sarjana Terapan Teknik
Pada
Konsentrasi Bangunan Air
Departemen Infrastruktur Teknik Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh :
Mahasiswa



Arief Yudho Wicaksono
NRP. 10111715000037

Dosen Pembimbing

03 AUG 2018

Dosen Pembimbing

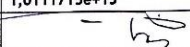

Dosen Pembimbing II :

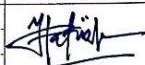

Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP. 19580629 198703 1 002



Dwi Indriyani, ST., MT.
NIP. 19810210 201404 2 001

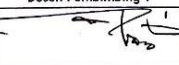



	BERITA ACARA TUGAS AKHIR TERAPAN PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS VOKASI ITS	No. Agenda : 041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018
		Tanggal : 17/07/2018

Judul Tugas Akhir Terapan Analisis Stabilitas Main Dam pada Waduk Tukul Pacitan Jawa Timur dengan menggunakan Aplikasi Geo-Studio	Nama Mahasiswa Arief Yudho W	NRP 1,0111715e+13
Dosen Pembimbing 1 Dr. Ir. Kuntjoro, MT. NIP 19580629 198703 1 002	Tanda tangan 	
Dosen Pembimbing 2 Dwi Indriyani, ST., MT. NIP 19810210 201404 2 001	Tanda tangan 	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
➤ Masukkan daftar pustaka Y Arwan SNI 2015-2016 BAYU. ➤ Pelajari lagi rumusan (variabel) pada Analisis stabilitas & rembesan ms. pengertan notasi harus sesuai dengan gambar dan perhitungan	 Muhammad Hafizh Imaaduddin, ST., MT. NIP 19860212 201504 1 001
1. Uraian pemompaan CA) pada perhitungan uraian pemompaan 2. Uraian pemompaan / uraian 3. Uraian / uraian piten pada gambar otologika	 Ir. Ismail Sa'ud, M.MT. NIP 19600517 198903 1 002
	NIP -
	NIP -
	NIP -
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 Muhammad Hafizh Imaaduddin, ST., MT. NIP 19860212 201504 1 001	 Ir. Ismail Sa'ud, M.MT. NIP 19600517 198903 1 002	NIP -	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjiwaan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1  Dr. Ir. Kuntjoro, MT. NIP 19580629 198703 1 002	Dosen Pembimbing 2  Dwi Indriyani, ST., MT. NIP 19810210 201404 2 001



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

NRP

Judul Tugas Akhir

: 1 ARIEF YUDHO W.

: 1 101171500037.

:

2

2

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. KUNTJORO, MT.

: Dwi INDRAYANI, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	10 April 2018	- Perbaiki penulisan Bab I, Bab II				
		- Perbaiki penulisan daftar gambar.				
		- Cek "Pangang Bendungan"		B	C	K
		- Kenapa memakai "Steady State"		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	23 April 2018	- Penambahan RUMUS dari aplikasi Geostudio (rembesan, Stabilitas).		B	C	K
		- Perbaiki penulisan 1 Gambar.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Font penulisan pada tabel & pembulatan				
		- Masalah dari warna hasil running.				
3	13 Mei 18	Susun outline skripsi & petrusjika		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	04/05/18	Contoh lain halaman		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	06/06/18	- Gambar & Sketsa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Subkisi Bab dan Subkisi				
6	3/7/18	- Susunan Caption		B	C	K
		- Perbaiki Gambar. (Masukan keterangan hasil Analisa pada gambar).		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 ARIEF YUDHO W. 2
NRP : 1 0111715000037 2
Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
Dwi Indriyani, ST, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
7	15/02/10	- Gambar & penjelasan suspensi bisa berupa Hubungan antara unsur dg lingkungan - Pertumbuhan manusia dalam				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal

ANALISIS STABILITAS MAIN DAM PADA WADUK TUKUL PACITAN JAWA TIMUR DENGAN MENGUNAKAN APLIKASI GEO-STUDIO

Nama Mahasiswa : Arief Yudho Wicaksono
NRP : 10111715000037
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP : 19580629 198703 1 002
Dosen Pembimbing 2 : Dwi Indriyani, ST., MT.
NIP : 19810210 201404 2 001

ABSTRAK

Pada tugas akhir ini memakai 3 desain bendungan antara lain desain eksisting, desain alternatif I, dan desain alternatif II. Pada semua desain tersebut ditentukan permodelan MAB +194.61, MAN +192.1 dengan adanya *Deadstorage* setinggi +134.5, dan Surut Cepat dari kondisi MAN sampai Mercu Intake +175.0.

Semua desain bendungan dengan permodelannya dilakukan analisis menggunakan program bantu Geo-Studio 2012 antara lain analisis rembesan, dan analisis stabilitas. Pada analisis rembesan akan mendapatkan hasil berupa pola rembesan, kecepatan rembesan, debit rembesan. Sedangkan hasil dari analisis stabilitas akan mendapatkan angka keamanan pada lereng hulu dan hilir yang mana angka tersebut mengacu pada SNI 2016.

Desain alternatif II merupakan desain yang memiliki hasil lebih efektif dibanding dengan desain yang lain. Pada hasil analisis rembesan desain alternatif II memiliki kecepatan, debit rembesan yang paling kecil dibanding dengan semua permodelan (MAB = 9.14×10^{-7} m/s ; 6.46×10^{-11} m³/det, MAN dengan *Deadstorage* = 6.90×10^{-7} m/s ; 6.12×10^{-11} m³/det, dan Surut Cepat = 4.49×10^{-5} m/s ; 6.11×10^{-11} m³/det). Sedangkan pada hasil analisis stabilitas desain alternatif II memiliki SF lebih dari 2 pada tiap

permodelannya dan dapat dikatakan aman karena pada acuan SNI 2016 menjelaskan bahwa pada kondisi permodelan MAB dan MAN dengan *Deadstorage* memiliki SF 1.5 serta Surut Cepat memiliki SF 1.3.

Kata Kunci: Tubuh Bendungan, Material, Analisis Rembesan, Analisis Stabilitas, Efektifitas

STABILITY ANALYSIS MAIN DAM ON WADUK TUKUL PACITAN JAWA TIMUR USING GEO- STUDIO APPLICATION

Nama Mahasiswa : Arief Yudho Wicaksono
NRP : 10111715000037
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ir. Kuntjoro, MT.
NIP : 19580629 198703 1 002
Dosen Pembimbing 2 : Dwi Indriyani, ST., MT.
NIP : 19810210 201404 2 001

ABSTRACT

In this final project use 3 dam design among others the existing design, alternative design I, and alternative design II. In all of these designs the model was determined MAB +194.61, MAN +192.1 with Deadstorage +134.5, dan Receded Quickly from conditions MAN until Mercur Intake +175.0.

All dam designs with modeling were analyzed using Geo-Studio 2012 program, among others seepage analysis, and stability analysis. In seepage analysis will get the result of seepage pattern, seepage velocity, seepage discharge. While the results of the stability analysis will get a safety factor on the upstream and downstream slopes in which the figure refers to SNI 2016.

Alternative design II is a design that has more effective results compared with other designs. In the result of seepage analysis of alternative design II has seepage velocity, and smaller seepage discharge compared with all modeling (MAB = 9.14×10^{-7} m/s ; 6.46×10^{-11} m³/det, MAN with Deadstorage = 6.90×10^{-7} m/s ; 6.12×10^{-11} m³/det, dan Receded Quickly = 4.49×10^{-5} m/s ; 6.11×10^{-11} m³/det). While on the result of stability analysis of alternative design II has SF more than 2 on each modeling and can be said

safe because in reference to SNI 2016 explains that at condition of modeling of Flood Water Level and Normal Water Level with Deadstorage have SF 1.5 and Receded Quickly have SF 1.3.

Keywords: *Main Dam, Material, Seepage Analysis, Stability Analysis, Effective*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Terapan yang berjudul “ANALISIS STABILITAS MAIN DAM PADA WADUK TUKUL PACITAN JAWA TIMUR DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI GEO-STUDIO” dengan baik dan dapat mempresentasikan pada Sidang Tugas Akhir Terapan.

Laporan Tugas Akhir Terapan ini merupakan salah satu syarat akademis pada program studi Diploma IV Teknik Sipil Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tujuan dari penulisan Laporan Tugas Akhir Terapan ini agar mahasiswa dapat memahami serta mengetahui langkah kerja dalam pekerjaan pelaksanaan pembangunan maindam di suatu bendungan/waduk.

Disini penulis menyadari bahwa tersusunnya Laporan Tugas Akhir Terapan ini tak lepas dari bantuan serta bimbingan orang sekitar. Dalam kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah

membantu dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir Terapan ini, yaitu :

1. Bapak Dr. Machsus, ST. MT. selaku kepala program studi Diploma Teknik Sipil ITS.
2. Bapak Dr. Ir. Kuntjoro, MT. Selaku dosen pembimbing pertama pada proyek akhir.
3. Ibu Dwi Indriyani, ST., MT. Selaku dosen pembimbing kedua pada proyek akhir.
4. Orang Tua dan Keluarga yang telah memberikan dorongan baik moral maupun materil yang tak terhingga, sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Terapan ini.
5. Dea Vita Aji Fauzi Putri yang telah membantu saya dan banyak memberikan masukan-masukan serta dukungan untuk menyusun Proyek Tugas Akhir ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa yang telah banyak membantu penyelesaian Proyek Tugas Akhir ini.
7. Seluruh pihak yang secara langsung ataupun tidak langsung telah membantu kami dalam menyelesaikan proyek akhir kami, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir Terapan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh sebab itu, kami berharap saran dan kritik yang membangun untuk kesempurnaan Laporan Tugas Akhir Terapan ini.

Akhir kata semoga Laporan Tugas Akhir Terapan ini dapat memberikan manfaat bagi kami dan bagi pembaca pada khususnya.

Surabaya, 30 Desember 2017

Penyusun :

Arief Yudho Wicaksono
NRP. 10111715000037

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Lokasi Studi.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1 Pengertian Umum Bendungan Inti atau Main Dam	7
2.1.1 Tinggi Bendungan	8
2.1.2 Tinggi Jagaan	9
2.1.3 Lebar Puncak Bendungan.....	10
2.1.4 Panjang Bendungan.....	10
2.1.5 Kemiringan Lereng Bendungan	11
2.2 Tipe Bangunan Main Dam	11
2.2.1 Bendungan Urugan Homogen.....	12
2.2.2 Bendungan Urugan Zonal	13

2.2.3	Bendungan Urugan Bersekat.....	13
2.3	Drainase Tubuh Bendungan	14
2.3.1	Rock Toe	14
2.3.2	Selimut Drainase Horizontal	15
2.3.3	<i>Chimney Drain</i>	15
2.3.4	Saluran Drainase Kaki.....	15
2.4	Teori Stabilitas dan Rembesan	16
2.4.1	Tinjauan Keamanan Rembesan dan Stabilitas	16
2.4.2	Rembesan Pada Tubuh Bendungan	17
2.4.3	Hubungan Rembesan Air dan Jenis Tanahnya	18
2.4.4	Perhitungan Batas Kritis.....	18
2.4.5	Perhitungan Rembesan pada Bendungan	20
2.4.6	Perhitungan Stabilitas pada Bendungan	21
2.4.7	Aplikasi Geo-Studio	22
BAB III METODOLOGI		29
3.1	Pengumpulan Data.....	29
3.2	Tahapan Analisa dan Perhitungan	29
3.3	Permodelan	30
3.3.1	Elevasi MAB (Muka Air Banjir).....	30
3.3.2	Elevasi Mercu Spillway dengan <i>Dead Storage</i>	30
3.3.3	Surut Cepat	30
3.4	Desain Alternatif Tipe Bendungan	30
3.5	Diagram Alir.....	31
BAB IV DATA DAN ANALISA		33

4.1	Data	33
4.1.1	Material Penyusun Tubuh Bendungan	33
4.1.2	Susunan dan Dimensi Tubuh Bendungan	34
4.2	Analisis Data	35
4.2.1	Analisis Rembesan GeoStudio SEEP/W Desain Eksisting.....	36
4.2.2	Analisis Stabilitas Longsor GeoStudio SLOPE/W Desain Eksisting.....	52
4.2.3	Analisis Rembesan Geostudio SEEP/W Desain Alternatif I.....	64
4.2.4	Analisis Stabilitas Longsor GeoStudio SLOPE/W Desain Alternatif I.....	68
4.2.5	Analisis Rembesan GeoStudio SEEP/W Desain Alternatif II.....	75
4.2.6	Analisis Stabilitas Longsor GeoStudio SLOPE/W Desain Alternatif II.....	80
4.2.7	Analisis Rembesan Dengan Perhitungan Manual	86
4.2.8	Analisis Stabilitas Dengan Perhitungan Manual	91
4.3	Hasil Analisa	93
4.3.1	Rembesan (SEEP/W)	93
4.3.2	Stabilitas Longsor (SLOPE/W)	98
4.3.3	Kuantitas Bahan Penyusun Tubuh Bendungan ..	101
BAB V KESIMPULAN		103
5.1	Kesimpulan.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....		105
BIODATA PENULIS.....		107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta lokasi proyek.....	4
Gambar 1. 2 Peta lokasi pekerjaan	5
Gambar 2. 1 Tinggi bendungan	8
Gambar 2. 2 Tinggi jagaan bendungan.....	9
Gambar 2. 3 Lebar puncak bendungan.....	10
Gambar 2. 4 Panjang bendungan.....	11
Gambar 2. 5 Type bendungan urugan (sumber: Suyono,1981)...	14
Gambar 2. 6 Pola rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan (sumber: googleimage).....	17
Gambar 2. 7 Tampilan halaman awal aplikasi geostudio	26
Gambar 2. 8 Tampilan menu pemilihan a	27
Gambar 3. 1 Diagram Alir I	31
Gambar 3. 2 Diagram Alir II	32
Gambar 4. 1 Desain eksisting melintang bendungan	35
Gambar 4. 2 Desain alternatif I penampang bendungan	36
Gambar 4. 3 Desain alternatif II melintang bendungan.....	36
Gambar 4. 4 Tampilan halaman awal.....	36
Gambar 4. 5 Pemilihan menu New geo-studio.....	37
Gambar 4. 6 Pemilihan analisa rembesan.....	37
Gambar 4. 7 Tampilan set axes	38
Gambar 4. 8 Tampilan set page.....	38
Gambar 4. 9 Tampilan tubuh bendungan eksisting AutoCAD....	39
Gambar 4. 10 Tampilan menu KeyIn	41
Gambar 4. 11 Tampilan input point dari AutoCAD	42
Gambar 4. 12 Hasil point koordinat yang telah tergambar.....	42
Gambar 4. 13 Gambar region dari tiap titik koordinat	43
Gambar 4. 14 Hasil gambar bendungan dari tiap titik koordinat	43
Gambar 4. 15 Tampilan KeyIn material SEEP/W.....	44
Gambar 4. 16 Tampilan Hyd. Conductifity Function.....	45
Gambar 4. 17 Tampilan Estimate Hyd. Conductifity Function...	45
Gambar 4. 18 Tampilan Estimate Vol. Water Content	46

Gambar 4. 19 Plot material sesuai region.....	46
Gambar 4. 20 Gambaran materia kelseluruhan	47
Gambar 4. 21 Tampilan KeyIn Boundary Condition	47
Gambar 4. 22 Tampilan garis Muka Air Banjir.....	48
Gambar 4. 23 Tampilan garis zero preassure	48
Gambar 4. 24 Tampilan potensial seepage.....	48
Gambar 4. 25 Tampilan draw	49
Gambar 4. 26 Tampilan flux section	49
Gambar 4. 27 Tampilan slove manager.....	50
Gambar 4. 28 Tampilan hasil running MAB +193.61	50
Gambar 4. 29 Tampilan garis Muka Air Normal	51
Gambar 4. 30 Hasil running MAN dan Sedimentasi +192.1.....	51
Gambar 4. 31 Tampilan garis surut cepat.....	52
Gambar 4. 32 Hasil running surut cepat +192.1 - 175.00.....	52
Gambar 4. 33 Tampilan pemilihan SLOPE/W	53
Gambar 4. 34 Tampilan KeyIn Analisis.....	53
Gambar 4. 35 Tampilan KeyIn Slip Surface	54
Gambar 4. 36 Tampilan KeyIn material SLOPE/W	54
Gambar 4. 37 Tampilan Entry and Exit (Left to Right)	55
Gambar 4. 38 Tampilan bagian Left Slide Hilir	55
Gambar 4. 39 Tampilan bagian Right Slide Hilir.....	56
Gambar 4. 40 Tampilan Entry and Exit (Right to Left)	56
Gambar 4. 41 Tampilan bagian Left Slide Hulu.....	57
Gambar 4. 42 Tampilan bagian Right Slide Hulu	57
Gambar 4. 43 Hasil analisis longsor MAB bagian Hilir.....	58
Gambar 4. 44 Hasil analisis longsor MAB bagian Hulu	58
Gambar 4. 45 Hasil angka safety factor MAB bagian Hilir	59
Gambar 4. 46 Hasil angka safety factor MAB bagian Hulu.....	59
Gambar 4. 47 Hasil analisis longsor MAN bagian hilir.....	60
Gambar 4. 48 Hasil analisis longsor MAN bagian hulu	60
Gambar 4. 49 Hasil angka safety factor MAN bagian Hilir	61
Gambar 4. 50 Hasil angka safety factor MAN bagian Hilir	61
Gambar 4. 51 Hasil analisis longsor Surut Cepat bagian hilir.....	62

Gambar 4. 52 Hasil analisis longsoran Surut Cepat bagian hulu	62
Gambar 4. 53 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hilir	63
Gambar 4. 54 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hulu	63
Gambar 4. 55 Hasil gambar desain alternatif I	66
Gambar 4. 56 Gambar material keseluruhan desain alternatif I	66
Gambar 4. 57 Tampilan hasil running MAB desain alternatif I	67
Gambar 4. 58 Hasil running Elv setinggi mercu Spillway desain alternatif I	67
Gambar 4. 59 Hasil running surut cepat desain alternatif I	68
Gambar 4. 60 Hasil analisa longsoran MAB bagian hilir (alternatif I)	69
Gambar 4. 61 Hasil analisa longsoran MAB bagian hulu (alternatif I)	69
Gambar 4. 62 Hasil angka safety factor MAB bagian hilir (alternatif I)	70
Gambar 4. 63 Hasil angka safety factor MAB bagian hulu (alternatif I)	70
Gambar 4. 64 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif I)	71
Gambar 4. 65 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif I)	71
Gambar 4. 66 Hasil angka safety factor Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif I)	72
Gambar 4. 67 Hasil angka safety factor Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif I)	72
Gambar 4. 68 Hasil analisa longsoran Surut Cepat bagian hilir (alternatif I)	73
Gambar 4. 69 Hasil analisa longsoran Surut Cepat bagian hulu (alternatif I)	73
Gambar 4. 70 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hilir (alternatif I)	74

Gambar 4. 71 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hulu (alternatif I).....	74
Gambar 4. 72 Hasil gambar desain alternatif II.....	77
Gambar 4. 73 Gambar material keseluruhan desain alternatif II.....	78
Gambar 4. 74 Tampilan hasil running MAB desain alternatif II.....	78
Gambar 4. 75 Hasil running Elv setinggi mercu Spillway desain alternatif II.....	79
Gambar 4. 76 Hasil running surut cepat desain alternatif II.....	79
Gambar 4. 77 Hasil analisa longsoran MAB bagian hilir (alternatif II).....	80
Gambar 4. 78 Hasil analisa longsoran MAB bagian hulu (alternatif II).....	81
Gambar 4. 79 Hasil angka safety factor MAB bagian hilir (alternatif II).....	81
Gambar 4. 80 Hasil angka safety factor MAB bagian hulu (alternatif II).....	82
Gambar 4. 81 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif II).....	82
Gambar 4. 82 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif II).....	83
Gambar 4. 83 Hasil angka safety factor Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif II).....	83
Gambar 4. 84 Gambar 96 Hasil angka safety factor Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif II).....	84
Gambar 4. 85 Hasil analisa longsoran Surut Cepat bagian hilir (alternatif II).....	84
Gambar 4. 86 Hasil analisa longsoran Surut Cepat bagian hulu (alternatif II).....	85
Gambar 4. 87 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hilir (alternatif II).....	85
Gambar 4. 88 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hulu (alternatif II).....	86
Gambar 4. 89 Grafik garis depresi bendungan.....	88

DAFTAR TABEL

Table 2. 1 Spesifikasi nilai K jenis tanah	18
Table 4. 1 Data material penyusun bendungan	33
Table 4. 2 Susunan material tubuh bendungan.....	34
Table 4. 3 Data dimensi tubuh bendungan	35
Table 4. 4 Hasil pencarian koordinat eksisting	39
Table 4. 5 Hasil pencarian koordinat alternatif I.....	64
Table 4. 6 Hasil pencarian koordinat alternatif II.....	75
Table 4. 7 Perhitungan koordinat parabola.....	87
Table 4. 8 Rekap perhitungan koefisien ekivalensi.....	88
Table 4. 9 Rekap perhitungan debit yang keluar pada bagian hilir bendungan	89
Table 4. 10 Rekap perhitungan i tiap kondisi.....	90
Table 4. 11 Rekap perhitungan kecepatan tiap material.....	90
Table 4. 12 Rekap perhitungan manual analisis stabilitas longsor	92
Table 4. 13 Rekap hasil analisa desain Eksisting (Inti Tegak)....	94
Table 4. 14 Rekap hasil analisa desain Alternatif I (Homogen)..	95
Table 4. 15 Rekap hasil analisa desain Alternatif II (Inti Miring)	96
Table 4. 16 Rekap hasil analisa stabilitas pada semua desain tipe bendungan	99
Table 4. 17 Rekap hasil analisa stabilitas pada semua desain tipe bendungan (lanjutan).....	100
Table 4. 18 Rekap perhitungan volume material penyusun bendungan	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan Bendungan Tukul bertujuan untuk meminimalisir adanya bencana banjir, pembuatan waduk untuk mendukung ketahanan pangan serta penyediaan air baku untuk memenuhi kebutuhan masyarakat wilayah Kabupaten Pacitan. Pembangunan Bendungan Tugu terletak pada koordinat X : 515564, Y : 9109045 yang secara geografis terletak di Kabupaten Pacitan, Kecamatan Arjosari, Desa Karanggede.

Pada pembangunan Bendungan Tukul terdapat beberapa item pekerjaan salah satunya adalah pekerjaan main dam. Main dam pada bendungan tukul memiliki tinggi 74.3 m yang dapat menampung aliran air di Kali Telu sebesar 5,112 juta m³. Pembangunan main dam dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe dengan material penyusun yang berbeda-beda. Bendungan Tukul direncanakan dengan inti zonal (tegak) yang rentan terhadap rembesan dan dapat menimbulkan longsoran pada tubuh bendungan dikarenakan terdapat material campuran maupun seragam sebagai penyusun bendungan. Maka dari itu bendungan tipe zonal berbeda dengan tipe beton, yang mana pada bendungan tipe beton materialnya dapat dipastikan tidak tembus air meskipun tembus air pasti sedikit, sedangkan tipe zonal memiliki material yang berpori. Dari beberapa hal yang telah di jelaskan di atas, maka dapat dilakukan analisa guna mengetahui stabilitas struktur main dam terhadap rembesan yang terjadi dengan permodelan yang telah di tentukan.

Rembesan air (*seepage*) yang berbahaya terhadap tubuh bendungan adalah rembesan yang mengikis material pembentuk

tubuh bendungan (*erosi*), yang mana pada suatu pertikel dapat menyebabkan peningkatan massa jenis pertikel tersebut bahkan dapat menyebabkan reaksi kimia yang dapat merugikan. Adapun yang tidak kalah pentingnya adalah perlu memperhatikan besarnya debit andalan yang tersedia pada sungai dari lokasi rencana waduk sebagai dasar dalam perencanaan dimensi tubuh bendungan. Dari beberapa data teknis yang di dapat maka dapat dilakukan beberapa analisa yaitu kedudukan main dam yang sesuai, pemilihan tipe main dam, dan perencanaan desain main dam.

Geo-studio adalah rangkaian produk perangkat lunak dari Geo-Slope *International Ltd.* yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja bendungan atau tanggul dengan berbagai tingkat kompleksitas. SEEP/W adalah salah satu elemen dari produk Geo-Studio dengan basic CAD terbatas untuk menganalisis rembesan air dan masalahdisipasi tekanan air pori berlebih dalam bahan berpori seperti tanah dan batuan. Formulasi yang komprehensif memungkinkan dapat mempertimbangkan analisis mulai dari yang sederhana, masalah kondisi jenuh steady-state sampai dengan masalah kondisi jenuh atau tidak jenuh yang tergantung pada waktu. SEEP/W dapat diterapkan pada analisis dan desain untuk geoteknik, sipil, hidrogeologi.

Dengan apa yang telah dijelaskan di atas, adapun tujuan dari laporan akhir ini adalah untuk mengetahui bagaimana menganalisa rembesan dan stabilitas pada tubuh bendungan dengan menggunakan aplikasi *geo-studio*, memodifikasi tipe main dam yang efektif dengan memperhitungkan bahan penyusun tubuh bendungan pada daerah sekitar serta memiliki *safety factor* yang aman dengan acuan SNI 2016.

1.2 Rumusan Masalah

Dari data teknis dan non-teknis yang telah dikumpulkan, penulis menarik beberapa rumusan masalah guna merencanakan main dam yang tepat yaitu:

1. Bagaimana cara menganalisa stabilitas dan rembesan dengan menggunakan aplikasi *geo-studio*.
2. Bagaimana hasil analisis rembesan yang terjadi pada Waduk Tukul Pacitan dengan permodelan yang ditentukan.
3. Bagaimana hasil analisis stabilitas yang terjadi pada Waduk Tukul Pacitan dengan permodelan yang ditentukan.
4. Bagaimana cara memilih desain tipe bendungan yang lebih efektif setelah dilakukan analisis rembesan dan stabilitas longsor dengan acuan SNI 2016.

1.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang telah penulis buat, maka penulis membatasi beberapa permasalahan diantaranya :

1. Hanya menghitung analisa rembesan dan stabilitas pada main dam.
 - Desain eksisting,
 - Desain alternatif I,
 - Desain alternatif II.
2. Memilih 1 type struktur main dam yang paling efektif dari semua desain.
3. Tidak membahas Rencana Anggaran Biaya.

1.4 Tujuan

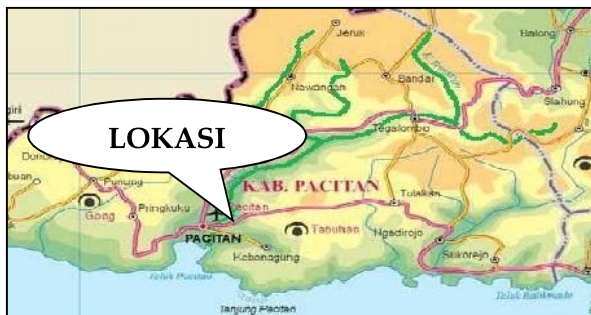
Dari rumusan masalah dan batasan masalah yang telah penulis buat, maka dapat ditentukan tujuan dari penulisan Laporan Tugas Akhir Terapan ini adalah :

1. Mengetahui tata cara menganalisa rembesan dan stabilitas menggunakan aplikasi *geo-studio* hingga mendapatkan nilai yang efektif dan sesuai dengan ketentuan yang ditentukan.
2. Mengetahui hasil analisis rembesan yang terjadi pada Waduk Tukul Pacitan Jawa Timur dengan permodelan yang ditentukan.
3. Mengetahui hasil analisis stabilitas yang terjadi pada Waduk Tukul Pacitan Jawa Timur dengan permodelan yang ditentukan.

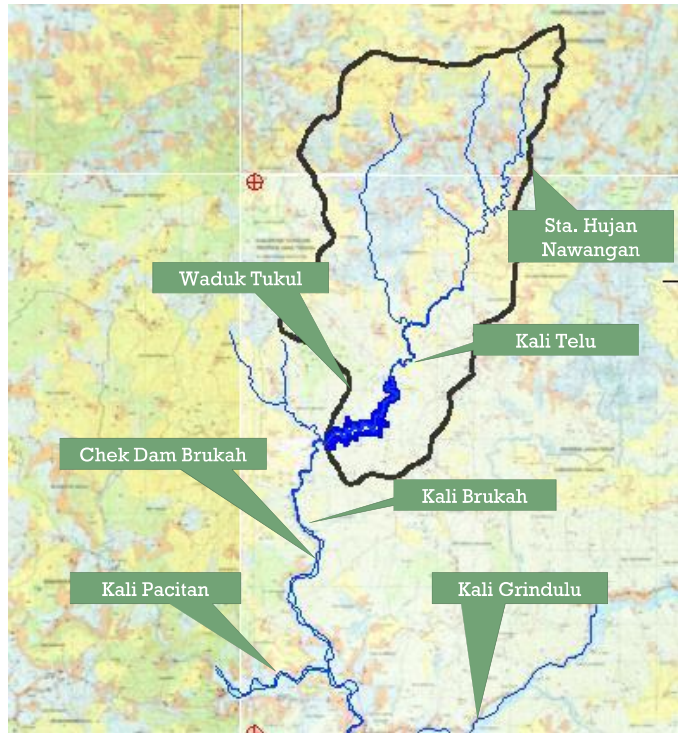
4. Mendapatkan satu permodelan tipe main dam yang paling efektif dalam segi rembesan serta memiliki *safety factor* yang aman dengan acuan SNI 2016.

1.5 Lokasi Studi

Perencanaan pembangunan Waduk Tukul secara geografis terletak pada $110^{\circ} 55' - 111^{\circ} 25'$ bujur timur $7^{\circ} 55' - 8^{\circ} 17'$ lintang selatan. Waduk Tukul dapat ditempuh melalui kota Ponorogo sejauh ± 5 km melalui jalan raya jurusan Pacitan, kemudian mengikuti arah jalan provinsi menuju kabupaten Pacitan selanjutnya ke arah desa Karanggede, Kecamatan Arjosari untuk menuju lokasi Waduk Tukul. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada gambar 1.1 dan 1.2.



Gambar 1. 1 Peta lokasi proyek



Gambar 1. 2 Peta lokasi pekerjaan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengertian Umum Bendungan Inti atau Main Dam

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 37 Pasal 1 Tahun 2010 tentang Bendungan, bahwa bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Bendungan atau waduk merupakan wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan.

Sebuah bendungan berfungsi sebagai penangkap air dan menyimpannya di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar dan yang melebihi kebutuhan baik untuk irigasi, air minum, dan yang lainnya. Dengan memiliki daya tampung tersebut sejumlah besar air sungai yang melebihi kebutuhan dapat disimpan dalam waduk dan baru dilepas ke dalam sungai di bagian hilirnya sesuai dengan kebutuhan pada saat diperlukan. Sebuah bendungan dapat dibuat dari bahan bangunan urukan tanah campur batu berukuran kecil sampai besar atau dari beton.

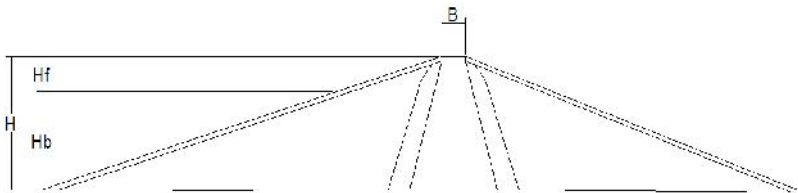
Penentuan dimensi tubuh bendungan diantaranya tinggi bendungan, lebar mercu bendungan, panjang bendungan, kemiringan lereng tubuh bendungan.

Main dam atau tubuh bendungan merupakan bangunan utama dari suatu konstruksi waduk dan bendungan. Pada latar belakang penulis juga sudah menjelaskan bahwa tubuh bendungan yang direncanakan harus mampu menahan beban yang ada serta dapat stabil terhadap rembesan dan longsor. Dalam perencanaan ini penulis menentukan untuk menganalisa tubuh bendungan

menggunakan aplikasi *geo-studio* serta memilih 2 tipe bendungan untuk mengetahui tipe bendungan mana yang lebih efektif dalam segi pemanfaatan material dan stabil terhadap rembesan dan longsoran dengan acuan SNI 2016. Pemilihan tipe bendungan urugan juga didasarkan pada topografi dan geologi daerah Pacitan, dengan jarak tebing yang cukup lebar membuat bendungan tipe ini sangat efektif. Selain itu pulau Jawa merupakan salah-satu daerah rawan gempa, dengan sifat fleksibilitas yang dimiliki bendungan tipe urugan ini memungkinkan bendungan untuk dapat bertahan dari pergeseran tanah. Bendungan urugan yang penulis tentukan adalah bendungan urugan tanah tipe Homogen dan tipe *Zonal* dengan inti tegak. Di sisi lain penulis juga dapat mengetahui kebutuhan material secara efektif dalam pemilihan tipe bendungan.

2.1.1 Tinggi Bendungan

Tinggi tubuh bendungan ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan tampungan air dan keamanan terhadap bahaya banjir (peluapan), dengan demikian tinggi tubuh embung setinggi muka air kolam pada kondisi penuh (kapasitas tampung desain) ditambah tinggi tampungan banjir dan tinggi jagaan. Tinggi bendungan adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu bendungan. Untuk menentukan tinggi bendungan secara optimal harus memperhatikan tinggi ruang bebas dan tinggi air untuk operasi waduk. Tinggi bendungan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Tinggi bendungan

Berikut adalah rumusan untuk mendapatkan tinggi bendungan:

$$H_d = H_b + H_f$$

dengan:

H_d = Tinggi tubuh bendungan rencana (m).

H_k = Tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (m).

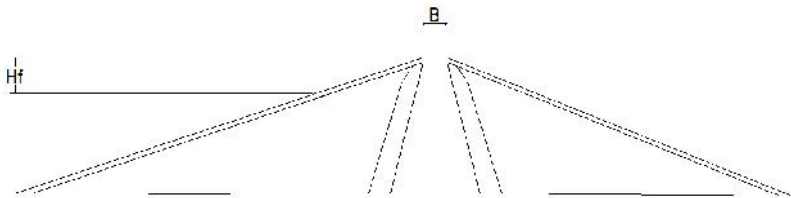
H_b = Tinggi tampungan banjir (m).

H_f = Tinggi jagaan (m).

(Soedibyo, 1993)

2.1.2 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan pada tubuh bendungan dimaksudkan untuk memberikan keamanan tubuh bendungan terhadap peluapan akibat banjir. Besarnya tinggi jagaan tergantung dari tipe tubuh bendungan. Gambar tinggi jagaan dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Tinggi jagaan bendungan

Untuk menentukan tinggi bendungan terlebih dahulu harus menentukan tinggi jagaan (H_f) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$H_f \geq \Delta h + (h_w \text{ atau } h_c/2) + h_a + h_i$$

dengan:

Δh = Tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk yang terjadi akibat timbulnya banjir abnormal (m)

h_w = Tinggi ombak akibat tiupan angin (m)

h_c = Tinggi gelombang akibat gempa (m)

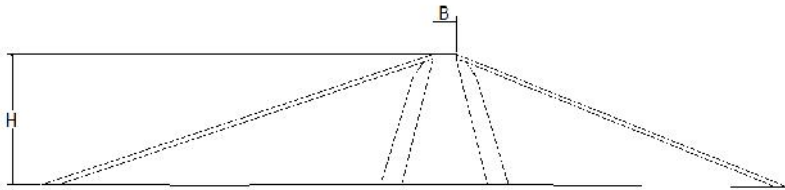
hd = Tinggi kemungkinan kenaikan permukaan air waduk, apabila terjadi kemacetan–kemacetan pada pintu bangunan pelimpah (m)

hi = Tinggi tambahan yang didasarkan pada tingkat urgensi waduk (m)

(Soedibyo, 1993)

2.1.3 Lebar Puncak Bendungan

Lebar mercu bendungan yang dimaksud adalah lebar pada elevasi tertinggi bendungan. Lebar mercu bendungan dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Lebar puncak bendungan

Untuk memperoleh lebar minimum mercu bendungan, biasanya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$B = 3,6 \cdot H^{1/3} - 3$$

dengan:

B = lebar mercu bendungan (m)

H = tinggi bendungan (m)

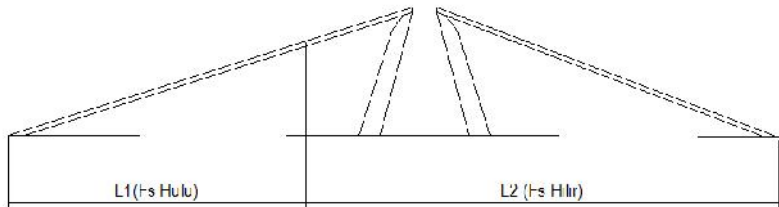
(Soedibyo, 1993)

2.1.4 Panjang Bendungan

Panjang bendungan adalah seluruh panjang mercu bendungan yang bersangkutan, termasuk bagian yang digali pada tebing–tebing sungai di kedua sisi ujung mercu tersebut.

2.1.5 Kemiringan Lereng Bendungan

Pada tubuh bendungan urugan mempunyai kemiringan lereng tertentu, dalam perencanaannya dapat menggunakan persamaan 2.4.



Gambar 2. 4 Panjang bendungan

Kemiringan lereng bendungan pada tubuh bendungan urugan mempunyai kemiringan lereng tertentu, dalam perencanaannya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$F_{shulu} = \frac{m - k \cdot \gamma}{1 + k \cdot \gamma n} \tan \phi \geq 1,1$$

$$F_{shilir} = \frac{n - k}{1 + k \cdot n} \tan \phi \geq 1,1$$

dengan:

F_{Shulu} = faktor keamanan lereng bagian hulu

F_{Shilir} = faktor keamanan lereng bagian hilir

M = kemiringan lereng hulu

n = kemiringan lereng hilir

k = koefisien gempa

ϕ = sudut geser dalam

(Soedibyo, 1993)

2.2 Tipe Bangunan Main Dam

Pembangunan main dam membutuhkan bahan-bahan berupa: batu, krikil, pasir, dan tanah. Sebagai fungsinya sebagai pengangkat permukaan air dalam suatu waduk, dan secara garis besarnya tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air ke

arah hilir. Didasarkan pada ukuran butiran dari bahan timbunan yang digunakan, menurut ICOLD (*The International Commission on Large Dam*) secara umum tipe bendungan dapat dibedakan menjadi 6 tipe, yaitu :

- Bendungan urugan batu (*rock fill dam*)
Bendungan yang kekuatan konstruksinya didasarkan pada urugan batu dan sebagai lapisan kedap air memakai tanah liat, tanah liat bercampur pasir/kerikil, lapisan aspal, beton bertulang atau geotextile
- Bendungan urugan tanah (*earth fill dam*)
Lebih dari setengah volume terdiri atas urugan tanah atau tanah liat
- Bendungan beton berdasar berat sendiri
Bendungan beton yang direncanakan untuk menahan beban dan gaya yang bekerja padanya hanya berdasar atas berat sendiri
- Bendungan beton dengan penyangga
Bendungan beton yang mempunyai penyangga untuk menyalurkan gaya-gaya yang bekerja padanya
- Bendungan beton berbentuk lengkung atau busur
Bendungan beton yang direncanakan untuk menyalurkan gaya yang bekerja padanya melalui pangkal tebing (abutment) kiri dan kanan bendungan
- Bendungan beton kombinasi
kombinasi lebih dari satu tipe bendungan

Ditinjau dengan penempatan serta penyusunan bahan untuk membentuk tubuh bendungan, maka bendungan urugan dapat di klasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe utama, yaitu:

2.2.1 Bendungan Urugan Homogen

Bendungan dapat digolongkan dalam tipe homogen, apabila material yang digunakan untuk membentuk tubuh bendungan

terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasi (ukuran butiran) yang hampir seragam.

2.2.2 Bendungan Urugan Zonal

Bendungan dapat digolongkan dalam tipe zonal, apabila material timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (ukuran butiran) yang berbeda dengan urutan lapisan tertentu.

Berdasarkan letak dan kedudukan dari zona kedap airnya, maka bendungan tipe zonal ini dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu :


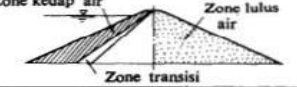
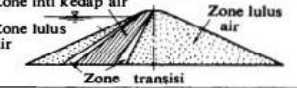

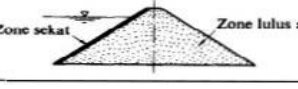
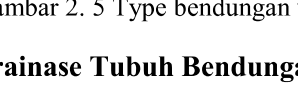
- Bendungan urugan zonal dengan tirai kedap air (*front core fill tipe dam*), ialah bendungan dengan zona kedap air yang membentuk lereng.
- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air miring (*inclined-core fill tipe dam*), ialah bendungan yang zona kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan yang berkedudukan miring ke arah hilir.
- Bendungan urugan zonal dengan inti kedap air tegak (*central-core fill dam*), ialah bendungan yang zona kedap airnya terletak di dalam tubuh bendungan yang berkedudukan vertikal.

(Suyono,1981)

2.2.3 Bendungan Urugan Bersekat

Bendungan dapat digolongkan dalam tipe sekat (*facing*), apabila pada lereng tubuh bendungan dilapisi dengan sekat tidak lulus air (dengan kedapan tinggi). Biasanya terbuat dari lapisan baja tahan karat, lapisan beton bertulang, lapisan plastik. Dan lain-lain.

Untuk dapat membedakan ketiga tipe tubuh bendungan tersebut, dapat dilihat pada gambar 3.1.

Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Tirai		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
Bendungan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Bendungan Inti miring		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan Inti vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll. nya.
Bendungan Sekat		

Gambar 2. 5 Type bendungan urugan (sumber: Suyono,1981)

2.3 Drainase Tubuh Bendungan

Drainase di dalam tubuh bendungan diperlukan untuk masuk dan keluar air dengan baik, sehingga tekanan air pori tidak mengangkat tubuh bendungan. Drainase tubuh bendungan dapat dilaksanakan dengan kombinasi dari metode berikut :

2.3.1 Rock Toe

Kaki hilir pada bendungan urugan adalah daerah paling kritis menyangkut ketidakstabilan rembesan ketika keseluruhan rembesan cenderung untuk berkonsentrasi di sini. Daerah ini diarahkan untuk menahan kekuatan aliran rembesan yang dapat menyebabkan gelombang dan pengelupasan dari kaki bendungan jika tidak terlindung dengan benar. Rock toe harus dilindungi oleh suatu filter transisi untuk mengontrol perpindahan dari partikel ke dalam celah batuan.

2.3.2 Selimut Drainase Horizontal

Drainase horisontal diharapkan akan mengumpulkan semaksimal mungkin rembesan yang diperkirakan melalui inti dan chimney drain. Drainase harus berada di sekeliling sisi timbunan dengan suatu lapisan filter. Jika material pondasi mudah terkikis (tererosi), maka perlindungan filter berfungsi untuk keperluan drainase tubuh bendungan dan lepasnya butiran tanah di pondasi. Ketebalan selimut drainase horisontal direncanakan 3 meter.

2.3.3 Chimney Drain

Chymney drain akan memotong semua lapisan bagian bendungan pada zona rembesan dan melindungi rembesan yang akan mengalir ke kemiringan hilir. Chymney drain ini tidak hanya membantu menjaga supaya bagian hilir terbebas dari rembesan saat tampungan penuh, tapi juga membantu mengurangi drawdown dan tekanan air pori saat pelaksanaan maupun setelah pelaksanaan. Air dari chimney drain harus mengalir melewati drainase horizontal dan keluar ke *toe drain*.

Zona ini harus dapat mencegah terbawanya butiran halus dari zona inti, serta dapat mengisi bagian bendungan yang masih kosong untuk menghindari retakan. Tujuan lain dari zona ini adalah mengurangi keretakan akibat terjadinya perbedaan penurunan dari zona-zona yang berdekatan karena proses konsolidasi yang berbeda. Standar ketebalan untuk zona ini adalah 3 – 3.6 meter.

2.3.4 Saluran Drainase Kaki

Drainase kaki biasanya diletakkan sepanjang kaki hilir dari bendungan yang berhubungan dengan *rock toe* atau selimut drainase horisontal untuk mengalirkan air rembesan yang muncul dari tubuh bendungan. *Rock toe* juga berguna untuk mengumpulkan rembesan pondasi.

Kedalaman dari drainase kaki direncanakan 1.5 m dengan lebar bagian bawah 1 m, dan kemiringan sisi 1:1. Konstruksi drainase kaki berupa beton bertulang. Kemiringan memanjang yang sesuai adalah untuk menyalurkan air rembesan ke saluran alami. Di dalam rock toe terdapat pipa pengumpul rembesan sebelum masuk ke saluran drainase kaki. Pipa pengumpul minimal berdiameter 15 cm, sedangkan untuk ini direncanakan dengan diameter 30 cm. Pipa pengumpul terbuat dari PVC yang berlobang. Pipa drainase dikelilingi rencana filter yang sesuai untuk mencegah clogging oleh material layang atau *piping* dari material pondasi.

2.4 Teori Stabilitas dan Rembesan

Dari Panduan Perencanaan Bendungan Urugan, Departemen PU, Juli 1999 tidak terdapat kriteria batas untuk volume aliran rembesan yang lewat tubuh bendungan maupun pondasi. Tetapi yang terdapat di dalam referensi tersebut adalah kriteria keamanan terhadap piping dan boilling.

Sedangkan untuk keamanan terhadap piping adalah bahwa kecepatan aliran filtrasi di dalam tubuh bendungan dan pondasi serta aliran yang keluar dari bagian tersebut tidak melebihi kecepatan kritis yang tergantung dari jenis dan properties material penyusunnya.

2.4.1 Tinjauan Keamanan Rembesan dan Stabilitas

Pada dasarnya pembangunan bendungan pada suatu daerah merupakan salah satu cara untuk menanggulangi suatu bencana yang disebabkan oleh banyak faktor. Pembangunan suatu bendungan tidak lepas dari adanya suatu analisa dimana tujuan analisa yaitu dapat mengetahui apakah pembangunan bendungan tersebut layak dan sesuai dengan SNI serta dapat beroperasi sesuai dengan umur rencana yang telah ditentukan.

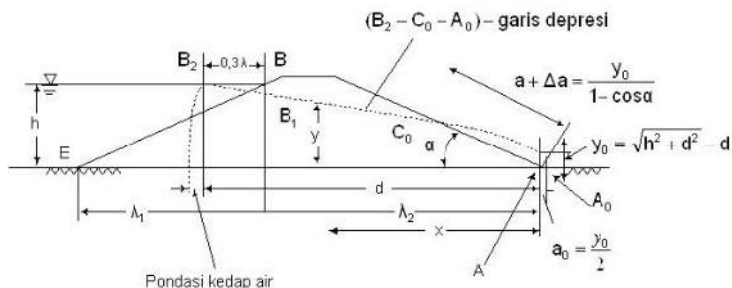
Analisa keamanan rembesan dan stabilitas dapat ditinjau menggunakan aplikasi *Geo-studio* 2012 v8.15.1.11236. Aplikasi *Geo-studio* adalah sebuah paket aplikasi untuk permodelan

geoteknik dan geolingkungan. Aplikasi ini melingkupi Slope/W, Seep/W, Sigma/W, Quake/W, Temp/W, dan Ctran/W.

2.4.2 Rembesan Pada Tubuh Bendungan

Rembesan Air atau Permeabilitas adalah sifat bahwa zat cair dapat mengalir lewat bahan berpori. Tanah termasuk bahan permeabel sehingga air dapat mengalir melalui pori-pori tanah derajat permeabilitas tanah ditentukan oleh Ukuran pori, jenis tanah dan kepadatan tanah yang dinyatakan dalam k (satuan kecepatan cm/s atau m/s).

Air tanah adalah air yang berada pada lapisan di bawah permukaan tanah. Kedalaman air tanah di tiap tempat tidak sama karena dipengaruhi oleh tebal atau tipisnya lapisan permukaan di atasnya dan kedudukan lapisan air tanah tersebut. Air juga merupakan faktor yang sangat penting dalam masalah-masalah seperti: penurunan, stabilitas pondasi, stabilitas lereng, dll. Kedalaman air dapat dilihat dari sumur-sumur yang digali oleh penduduk. Permukaan bagian atas air itu lebih preatik. (Sukirman, 2014). Garis depresi pada tubuh bendungan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 6 Pola rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan (sumber: googleimage)

2.4.3 Hubungan Rembesan Air dan Jenis Tanahnya

Aliran air dalam tanah pada umumnya berupa aliran laminar, maka berlaku hukum Darcy bahwa kecepatan berbanding langsung dengan gradien hidraulik.

$$V = k i$$

Dengan, V = kecepatan aliran (m/s)
 i = kemiringan lintasan
 k = koefisien permeability (m/s)
 atau (cm/s)

Nilai k untuk jenis-jenis tanah :

Table 2. 1 Spesifikasi nilai K jenis tanah

Jenis Tanah	K (mm/s)
Butiran Kasar	$10^{-1} - 10^3$
Kerikil halus, butiran kasar bercampur pasir butiran sedang	$10^{-2} - 10^{-1}$
Pasir halus, lanau longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
Lanau padat,	$10^{-5} - 10^{-4}$
Lanau berlempung	
Lempung berlanau, lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

(Hardiyatmo, 2002)

2.4.4 Perhitungan Batas Kritis

Bila tekanan rembesan ke atas yang terjadi dalam tanah sama dengan i_c maka tanah akan pada kondisi mengapung. Keadaan semacam ini juga dapat berakibat terangkutnya butir-butir tanah halus, sehingga terjadi pipa-pipa di dalam tanah yang disebut *piping* (Hardiyatmo, 2002).

Piping dapat menyebabkan rongga udara dalam bendungan yang secara signifikan dapat menurunkan tahanan tanah, yang mana sangat berbahaya bagi kestabilan bendungan. Berikut perhitungan kecepatan kritis yang diijinkan agar tidak terjadi gejala sufosi (*piping*) serta sembulan (*boiling*).

- **Kecepatan kritis yang di ijin**

Kecepatan aliran kritis dapat dihitung dengan rumus :

$$V_c > V_s$$

$$V_c = \sqrt{\frac{W_1 g}{F \gamma w}}$$

Dimana:

- V_c = Kecepatan rembesan kritis yang diijinkan.
- V_s = Kecepatan rembesan
- d = Diameter butiran terkecil
- W_1 = $(G_s - 1) \times \frac{1}{6} \times \pi \times d^3$
- G_s = *Gravity specific* (berat jenis)
- g = Gravitasi
- F = luas penampang butiran terkecil
- γ = Berat volume (gram/cm³)

- **Waktu Pengosongan Tangki**

Pengosongan tangki diibaratkan dengan penurunan muka air suatu waduk pada kondisi tertentu atau biasa di sebut dengan surut cepat, dimana kurangnya inflow air waduk dibandingkan dengan banyaknya *supply* air waduk yang dimanfaatkan (outflow). Untuk mengetahui berapa lama durasi penurunan muka air dari kondisi muka air normal sampai muka air setinggi menara intake dapat dihitung menggunakan rumus: (Hidraulika I, 2012)

$$t = \frac{2 A (H1)^{1/2}}{Cd \alpha \sqrt{2g}}$$

Dimana,

- t = waktu pengosongan (det)
- A = luas tampungan (m²)
- H = beda tinggi (m)
- Cd = koefisien debit
- α = luas lubang/intake (m²)
- g = percepatan gravitasi (9,8m/det²)

2.4.5 Perhitungan Rembesan pada Bendungan

Henri Darcy merupakan seorang ahli hidraulika dari Perancis mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah. Darcy berpendapat bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun keluar dari lapisan tanah sebanding dengan gradien hidrauliknya.

Hukum Darcy dapat digunakan untuk menghitung debit rembesan yang melalui struktur bendungan. Dalam merencanakan sebuah bendungan, perlu diperhatikan stabilitasnya terhadap bahaya longsor, erosi lereng dan kehilangan air akibat rembesan yang melalui tubuh bendungan. Beberapa cara diberikan untuk menentukan besarnya rembesan yang melewati bendungan yang dibangun dari tanah homogenya. Berikut ini disajikan beberapa cara untuk menentukan debit rembesan.

Hukum Darcy dinyatakan dalam persamaan, sebagai berikut:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

$$V = k \cdot i$$

$$Q = \frac{N_f}{N_p} \cdot k \cdot h \cdot L$$

Dengan :

Q = volume aliran air persatuan waktu yang masuk ataupun keluar (m³/s),

k = konstanta yang dikenal sebagai koefisien permeabilitas (cm/s),

V = kecepatan rembesan (cm/s),

i = gradien hidrolik,

A = luas penampang tanah yang dilewati (m²),

N_f = angka pembagi dari garis trayektori aliran filtrasi,

N_p = angka pembagi dari garis equipotensial.

Semua jenis tanah dapat dilalui air melalui pori – pori tanah. Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air mengalir lewat rongga pori. Semakin tinggi tingkat kepadatan

tanah, maka semakin kecil nilai koefisien permeabilitas dan debit rembesan yang dihasilkan. Garis freatik sebagai garis batas kejenuhan pada struktur tubuh bendungan. Garis freatik akan memisahkan daerah yang mengalami rembesan dengan daerah yang tidak mengalami rembesan.

Muatan dan gaya – gaya yang diperhitungkan meliputi:

- a. Berat Sendiri Konstruksi
- b. Tekanan Pori
- c. Tekanan Hidrostatik
- d. Gaya Akibat Gempa

2.4.6 Perhitungan Stabilitas pada Bendungan

Stabilitas Tubuh bendungan dikontrol terhadap pengaruh longsor yang terjadi di lereng dengan menggunakan dua cara yaitu manual dan bantuan *software*. Cara manual dapat dihitung menggunakan metode irisan (*Method Of Slices*) dan cara *software* menggunakan bantuan aplikasi *Geo-studio*. Cara manual untuk mencari stabilitas dari lereng tubuh bendungan dapat dihitung menggunakan metode *Method Of Slice*. Persamaan yang digunakan dalam metode ini, sebagai berikut:

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n}$$

Dimana:

- Fs = faktor keamanan
 C = kohesi (kN/m²)
 ΔLn = panjang irisan (m)
 Wn = berat irisan (kN/m)
 α n = sudut yang dibentuk oleh jari-jari lingkaran dengan garis.
 φ = sudut geser tanah.

2.4.7 Aplikasi Geo-Studio

Untuk menganalisa rembesan dan stabilitas pada main dam dapat dilakukan menggunakan aplikasi geo-studio. Dengan adanya aplikasi ini tentunya dapat mempermudah serta menghemat waktu untuk melakukan analisa dibandingkan dengan menggunakan aplikasi biasa seperti Microsoft Excel atau yang lainnya.

Dalam aplikasi geo-studio terdapat berbagai analisa antara lain rembesan (seep/w) dan stabilitas (slope/w).

- Slope/W

Merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. Dengan Slope/W memungkinkan untuk dapat menganalisa masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari 8 (delapan) metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat beban, dan beban terkonsentrasi. Pada analisa kestabilan lereng, aplikasi ini dapat menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik.

Pada analisa slope/w terdapat 10 metode antara lain:

1. Ordinary or Fellenius

Metode ini terkadang juga disebut sebagai metode irisan Swedia. Dalam metode ini, semua gaya irisan antar diabaikan. Berat irisan dipecahkan menjadi gaya sejajar dan tegak lurus dengan basis irisan. Gaya yang tegak lurus terhadap dasar irisan adalah gaya normal basa, yang digunakan untuk menghitung kekuatan geser yang tersedia. Komponen berat yang sejajar dengan dasar irisan adalah gaya penggerak gravitasi. Penjumlahan momen tentang titik yang digunakan untuk menggambarkan permukaan slip percobaan juga digunakan untuk menghitung faktor keamanan. Faktor keamanan adalah total kekuatan geser yang tersedia di sepanjang permukaan slip dibagi dengan penjumlahan dari gaya mengemudi gravitasi (geser dimobilisasi)

2. Bishop's Simplified

Bishop mengembangkan persamaan untuk normal pada dasar irisan dengan menjumlahkan gaya irisan ke arah vertikal. Konsekuensi dari ini adalah bahwa basis normal menjadi fungsi dari faktor keamanan. Ini pada gilirannya membuat faktor persamaan keselamatan nonlinear (yaitu, FS muncul di kedua sisi persamaan) dan prosedur iteratif diperlukan untuk menghitung faktor keamanan.

3. Janbu's Simplified

Metode Janbu's Simplified serupa dengan metode Bishop's Simplified, kecuali bahwa metode Janbu's Simplified hanya memenuhi keseimbangan gaya horizontal keseluruhan, tetapi bukan keseimbangan momen secara keseluruhan.

4. Spencer

Spencer (1967) mengembangkan dua faktor persamaan keamanan; satu berkaitan dengan momen ekuilibrium dan yang lainnya berkenaan dengan kesetimbangan gaya horizontal. Dia mengadopsi hubungan konstan antara gesekan interslice dan kekuatan normal, dan melalui prosedur iteratif mengubah geser interslice ke rasio normal sampai dua faktor keamanan yang sama.

5. Morgenstern-Price

Morgenstern and Price (1965) mengembangkan metode yang mirip dengan metode Spencer, tetapi mereka diizinkan untuk berbagai fungsi kekuatan potongan yang ditentukan pengguna.

6. Corps of Engineers – 1

Metode Corps of Engineers 1 dicirikan oleh fungsi kekuatan pada potongan tertentu, dan metodenya hanya memenuhi keseimbangan gaya horizontal keseluruhan.

7. Corps of Engineers – 2

Asumsi potongan kedua dalam metode Corps of Engineers 2 adalah bahwa hasil interslice sama dengan kemiringan permukaan tanah di bagian atas slice.

8. Lowe-Karafiath

Metode Lowe-Karafiath (L-K) pada dasarnya sama dengan metode Corps of Engineers, kecuali bahwa ia menggunakan variasi lain pada fungsi kekuatan potongan yang diasumsikan.

9. Janbu Generalized

Metode Generalized Janbu agak berbeda dari semua metode keseimbangan batas lainnya yang dibahas di atas. Metode ini membebaskan distribusi tegangan pada massa geser potensial dengan mendefinisikan garis dorong.

10. Sarma – vertical slices

Sarma (1973) mengembangkan metode analisis stabilitas untuk irisan non-vertikal atau untuk blok umum. Hanya irisan vertikal yang diasumsikan dalam metode Sarma saat ini yang diimplementasikan dalam SLOPE / W. Metode Sarma lengkap belum diterapkan.

• Seep/W

Merupakan suatu metode pada aplikasi *geo-studio* yang digunakan untuk menganalisa rembesan air tanah, masalah kelebihan disipasi tekanan pori air. Dengan Seep/W dapat dipertimbangkan analisis mulai dari masalah tingkat kejenuhan yang tetap sampai yang tidak jenuh, tergantung dari masalah yang terjadi.

Pada analisa seep/w terdapat 2 permodelan yaitu:

1. Material Model

Model material dalam SEEP / W mencirikan kemampuan media berpori untuk menyimpan dan mengirimkan air. Transmisi dan penyimpanan properti untuk uap dihitung secara otomatis oleh

perangkat lunak, sedangkan properti untuk air cair adalah input pengguna. Untuk permodelan material pada aplikasi geo-studio dibedakan menjadi 2 yaitu :

- *Saturated Only*

Merangkum input yang dibutuhkan oleh model material jenuh-saja. Perubahan penyimpanan air dicirikan dengan menentukan kompresibilitas struktur tanah, yang menghubungkan straining volumetrik struktur tanah untuk variasi tekanan air pori. Dalam kondisi jenuh, kadar air volumetrik setara dengan porositas.

Biasanya permodelan ini digunakan untuk data lapisan bawah bendungan.

- *Saturated-Unsaturated*

Merangkum input untuk model material jenuh-jenuh. Fungsi kadar air volumetrik mencirikan volume air yang disimpan sebagai fungsi dari suction matrik (ϕ), yang, jika tekanan udara diasumsikan nol, setara dengan tekanan air pori negatif.

Konduktivitas hidrolik adalah fungsi dari kandungan air volumetrik, dan oleh karena itu secara tidak langsung fungsi tekanan air pori.

Biasanya pada permodelan ini digunakan untuk data material penyusun bendungan antara lain; zona kedap, filter, timbunan random, riprap, dan lain-lain.

2. *Boundary Condition*

Kondisi batas ini umumnya mengambil bentuk variabel dependen (kondisi batas tipe 1) atau gradien variabel dependen (kondisi batas tipe ke-2) normal ke batas.

Namun demikian, kondisi batas yang lebih kompleks perlu dibahas lebih lanjut dan dijelaskan dalam bagian berikut:

- *Potential Seepage*

Potensial tinjauan rembesan harus digunakan jika permukaan bebas yang dapat berkembang di sepanjang batas.

Misalnya, kondisi ini dapat digunakan untuk mensimulasikan pemakaian air di sepanjang bagian sisi hilir dari struktur bumi atau mengalir ke saluran yang tidak tertekan.

- *Total Head*

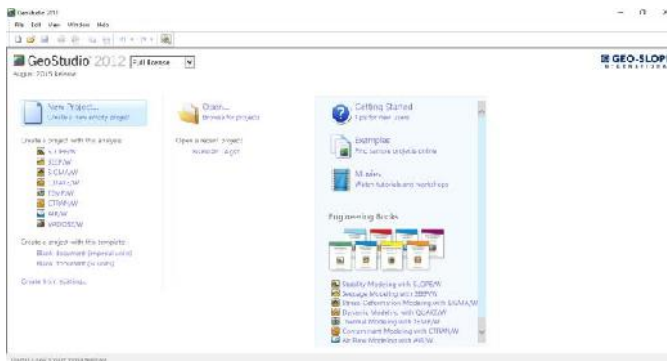
Ketinggian air dalam topografi rendah atau cekungan dapat bervariasi dari waktu ke waktu karena aliran air di permukaan tanah menyebabkan ketinggian air tambak berubah. Ketinggian air di kolam atau danau, misalnya, mungkin meningkat jika ada pelepasan air tanah.

- *New Boundary Conditions*

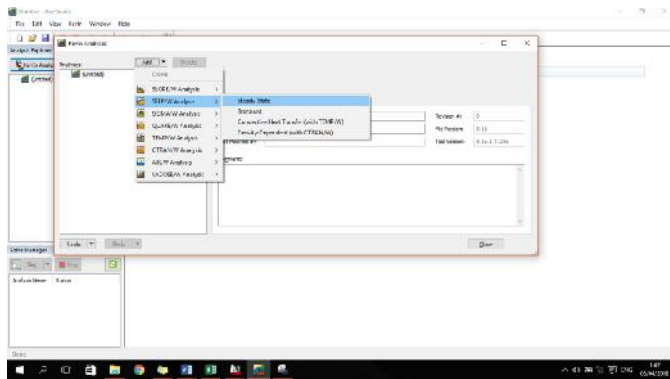
Untuk kondisi batas ini dapat dilakukan dengan menginput data permodelan yaitu; Muka Air Banjir, Elevasi setinggi Mercu, dan Surut Cepat. Kemudian masukan data berupa elevasi yang ada pada program AutoCAD.

Pada akhirnya pada bagian ini akan menampilkan ketinggian muka air serta garis depresi yang terjadi pada tubuh bendungan dengan permodelan yang ada.

Tampilan dari *software geo-studio* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 7 Tampilan halaman awal aplikasi geostudio



Gambar 2. 8 Tampilan menu pemilihan a

BAB III

METODOLOGI

3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang terkait dapat diperoleh dari instansi/konsultan yang berupa *soft drawing* struktur main dam, data material penyusun main dam, pondasi bendungan, operasi waduk dan elevasi muka air. Data-data tersebut kemudian dapat dilakukan analisa menggunakan aplikasi *geo-studio*.

3.2 Tahapan Analisa dan Perhitungan

Dari data yang telah dikumpulkan, maka dapat ditentukan 3 (tiga) permodelan yang akan menjadi acuan untuk analisa rembesan (*seepage*) dan stabilitas (*slope*) bendungan, berikut adalah permodelan yang menjadi acuan:

- Elevasi Muka Air Banjir,
- Elevasi setinggi Mercu Spillway dengan adanya *Dead Storage*,
- Terjadi penurunan elevasi secara tiba-tiba, (Mercu sampai setinggi *intake*)

Hasil yang akan didapatkan berdasarkan data-data yang diketahui dan akan dilakukan analisis secara garis besar dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Garis depresi pada main dam.
- Debit yang masuk drainase tubuh bendungan.
- Debit yang keluar dari batas hilir bendungan.
- Kecepatan maksimum rembesan.
- Angka *Safety factor* pada main dam.
- Membuat 2 alternatif permodelan tipe bendungan.

3.3 Permodelan

Rencana permodelan dibuat untuk mempermudah melakukan proses analisa menggunakan aplikasi *geo-studio*. Masing-masing permodelan akan ditetapkan pada potongan melintang bendungan. Berikut pembagian permodelan bendungan:

3.3.1 Elevasi MAB (Muka Air Banjir)

Elevasi MAB adalah elevasi tambahan yang terjadi akibat debit banjir yang melebihi kapasitas Spillway. Elevasi berdasarkan data yang didapatkan menunjukkan elevasi mencapai +194,61.

3.3.2 Elevasi Mercu Spillway dengan *Dead Storage*

Elevasi yang terjadi saat debit sungai tidak melebihi elevasi mercu spillway, elevasi air tergolong tinggi akan tetapi spillway kosong, yaitu pada elevasi +192.10. Sedimen akan sangat mempengaruhi kestabilan bendungan, pada permodelan kali ini sedimen akan dianggap mencapai elevasi yaitu +134.5.

3.3.3 Surut Cepat

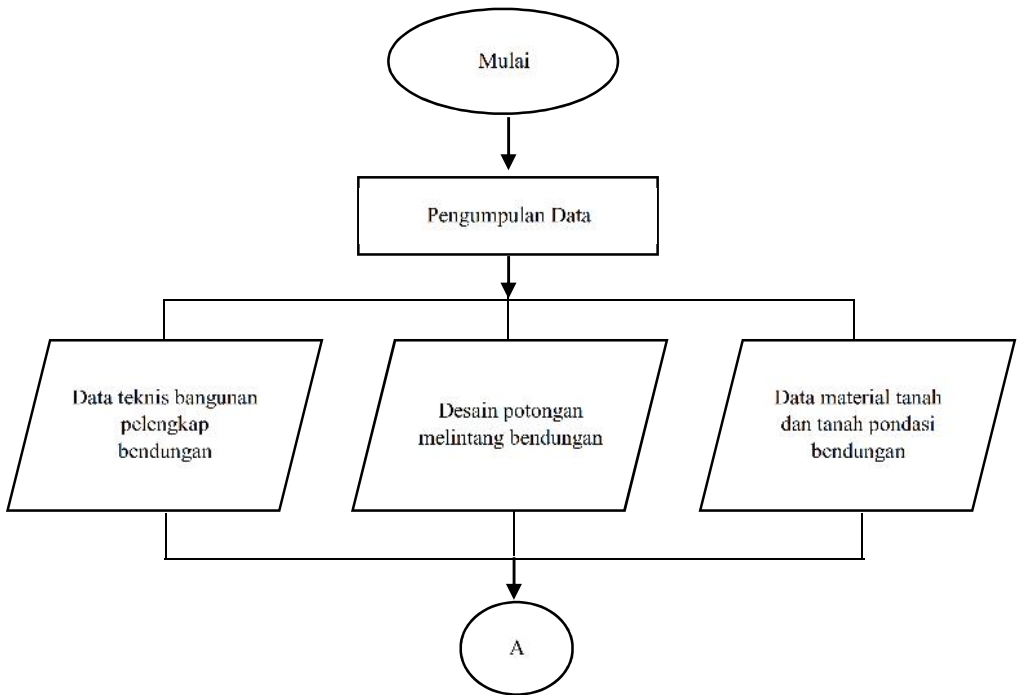
Pada saat rembesan yang terjadi belum sempat turun dikarenakan perubahan debit sungai yang secara tiba-tiba, dimana rembesan berada pada elevasi yang jauh melebihi elevasi muka air sungai. Elevasi rembesan berada pada elevasi mercu spillway +192.10, sedangkan muka air asli berada pada elevasi mercu intake yaitu +175.00.

3.4 Desain Alternatif Tipe Bendungan

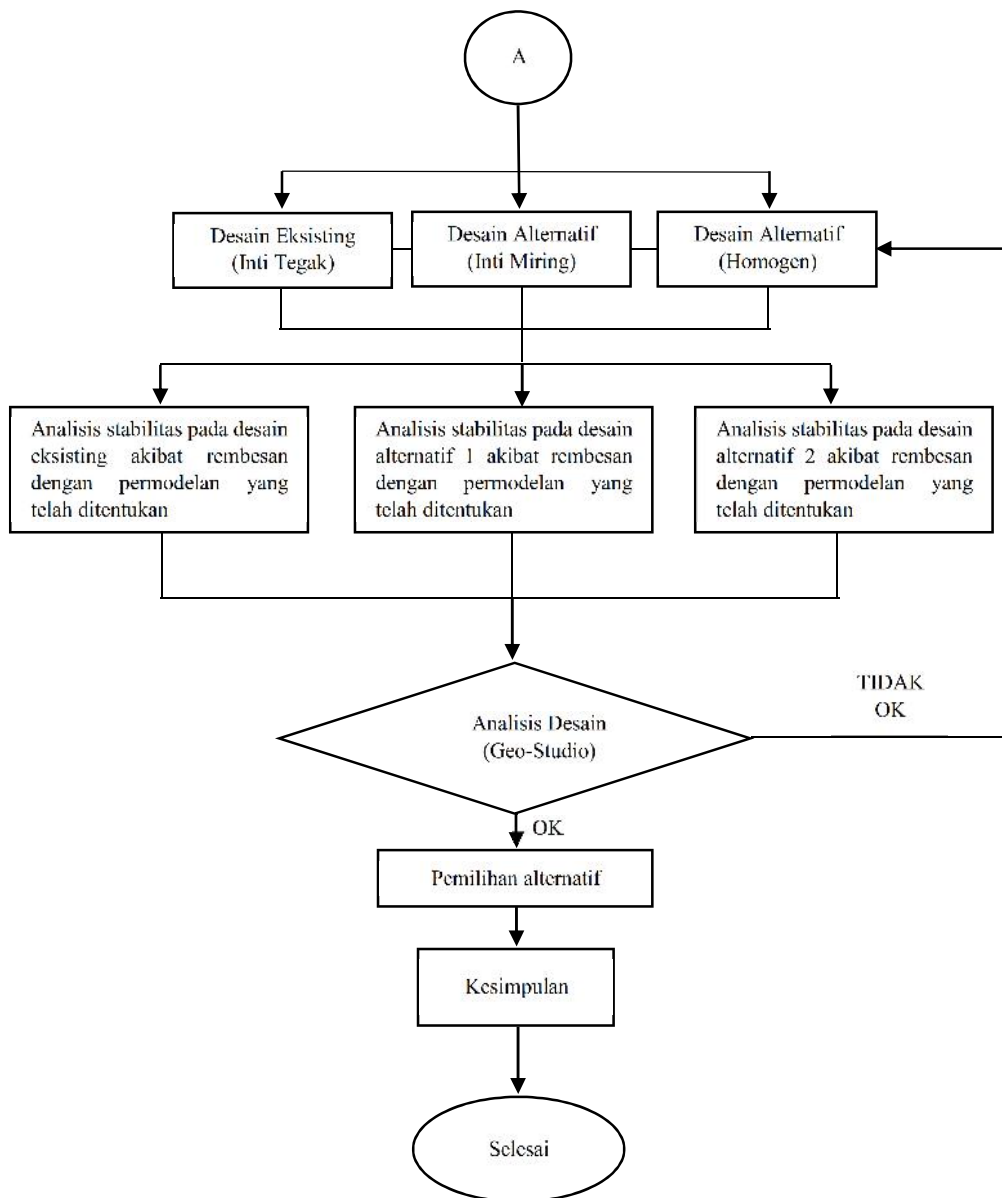
Setelah melakukan analisis pada desain ekisting, penulis bertujuan untuk membuat 2 (dua) desain alternatif tipe bendungan, antara lain:

1. Bendungan Tipe Homogen
2. Bendungan Tipe *Zonal* dengan inti miring

3.5 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir I



Gambar 3. 2 Diagram Alir II

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Data

Data merupakan sebuah acuan untuk melakukan analisis pada tubuh bendungan. Disamping itu data yang digunakan untuk analisis meliputi data material, susunan dan dimensi tubuh bendungan.

4.1.1 Material Penyusun Tubuh Bendungan

Data ini digunakan untuk semua desain tipe bendungan yang akan dilakukan analisa aplikasi maupun analisa manual. Data ini juga dapat dilakukan dengan cara mengelompokan tiap-tiap material penyusun tubuh bendungan dengan hasil uji data tanah yang telah diketahui pada tabel 4.1

Table 4. 1 Data material penyusun bendungan

Inti Kedap Air			
Berat Jenis Material (γ_t)	=	1.727 t/m ³	= 16.942 k N/m ³
Sudut Geser Total Stress (ϕ)	=	16.577°	= 16.577°
Kohesi Total Stress (C)	=	0.251 kg/cm ²	= 24.615 kPa
Sudut Geser Eff Stress (ϕ)	=	18.230°	= 18.230°
Kohesi Eff Stress (C)	=	0.257 kg/cm ²	= 25.203 kPa
Permeability	=	3.98E-07 cm/dt	= 3.98E-09 m/dt
Random			
Berat Jenis Material (γ_t)	=	1.736 t/m ³	= 17.030 k N/m ³
Sudut Geser Total Stress (ϕ)	=	36.870°	= 36.870°
Kohesi Total Stress (C)	=	0.045 kg/cm ²	= 4.413 kPa
Permeability	=	3.60E-02 cm/det	= 3.60E-04 m/dt
Filter			
Berat Jenis Material (γ_t)	=	1.806/m ³	= 17.717 k N/m ³
Sudut Geser Total Stress (ϕ)	=	37.100°	= 37.100°

Kohesi Total Stress (C)	=	0.077 kg/cm ²	=	7.551 kPa
Permeability	=	5.05E-02 cm/det	=	5.05E-06 m/dt
Rock Toe				
Berat Jenis Material (Y _t)	=	2.194 t/m ³	=	21.523 k N/m ³
Sudut Geser Total Stress (φ)	=	32.74°	=	32.74°
Kohesi Total Stress (C)	=	10.93 kg/cm ²	=	1071.573 kPa
Permeability	=	5.00E-02 cm/det	=	5.00E-04 m/dt
Pondasi				
Berat Jenis Material (Y _t)	=	2.075 t/m ³	=	20.356 k N/m ³
Sudut Geser Total Stress (φ)	=	32.74°	=	32.74°
Kohesi Total Stress (C)	=	10.93 kg/cm ²	=	1071.573 kPa
Permeability	=	1.00E-05 cm/det	=	1.00E-07 m/dt
Modulus Elastisitas (E)	=	20364 Kg/m ²	=	1.9970e+06 kPa

4.1.2 Susunan dan Dimensi Tubuh Bendungan

Pada tipe bendungan yang ditentukan terdapat perbedaan dan juga persamaan pada susunan tubuh bendungan. Gambar dari susunan material pada tubuh bendungan dapat dilihat pada Bab II bagian 2.2.1-2.2.3. Sedangkan data susunan material pada tubuh bendungan dapat dilihat pada tabel 4.2

Table 4. 2 Susunan material tubuh bendungan

Type Bendungan	Susunan Material				
	Core	Filter	Random	Rip-rap	Rock Toe
Inti Tegak (Eksisting)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
Homogen (Alternatif I)	-	Ya	Ya	Ya	Ya
Inti Miring (Alternatif II)	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Sementara pada dimensi tubuh bendungan memiliki kesamaan pada semua desain bendungan yang ditentukan. Kesamaan tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan tiap tipe bendungan itu sendiri. Gambar dari dimensi tubuh bendungan sendiri dapat dilihat pada Bab II bagian 2.1.1-2.1.5. Sedangkan data dimensi tubuh bendungan dapat dilihat pada tabel 4.3

Table 4. 3 Data dimensi tubuh bendungan

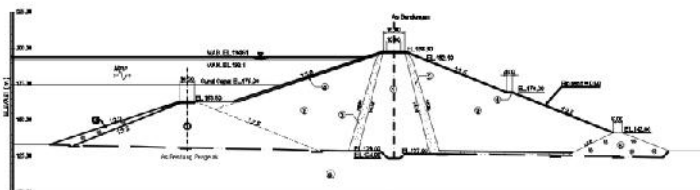
No	Data Teknis		
1	Tinggi Bendungan	=	74.30 m
2	Tinggi Jagaan	=	3.69 m
3	Panjang Bendungan	=	225 m
4	Lebar Puncak Bendungan	=	15 m

4.2 Analisis Data

Dengan data yang telah diketahui pada sub Bab sebelumnya, maka dapat dilakukan analisis data pada tipe bendungan serta permodelan yang telah dijelaskan seperti pada Bab III bagian 3.3.

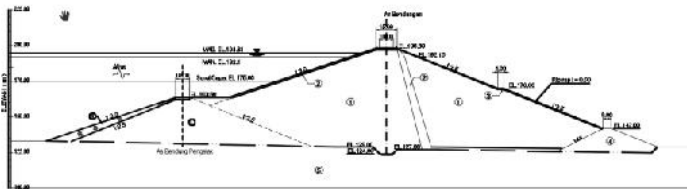
Analisis data ini meliputi rembesan dan stabilitas, yang mana pada analisis rembesan akan mengetahui bagaimana pola rembesan yang terjadi dan berapa nilai *safety factor* yang terjadi akibat rembesan tersebut. Analisa ini berlaku pada semua desain tipe bendungan yang telah ditentukan, gambar desain tipe bendungan dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2, dan 4.3. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran gambar E -1, Alt I -2, dan Alt II -3.

- Desain Eksisting (Inti Tegak)



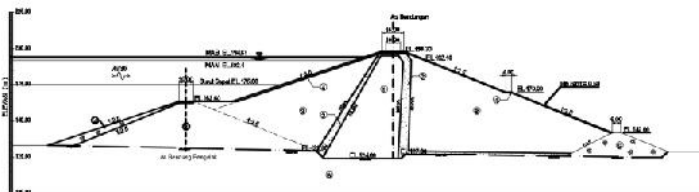
Gambar 4. 1 Desain eksisting melintang bendungan

- Desain Alternatif I (Homogen)



Gambar 4. 2 Desain alternatif I penampang bendungan

- Desain Alternatif II (Inti Miring)

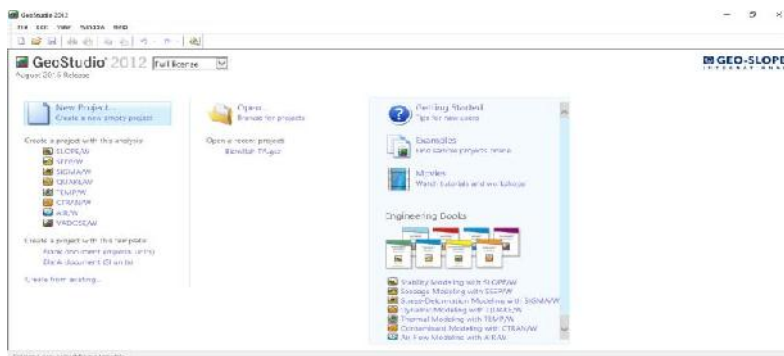


Gambar 4. 3 Desain alternatif II melintang bendungan

4.2.1 Analisis Rembesan GeoStudio SEEP/W Desain Eksisting

Tata cara analisa rembesan pada desain eksisting menggunakan aplikasi GeoStudio 2012 :

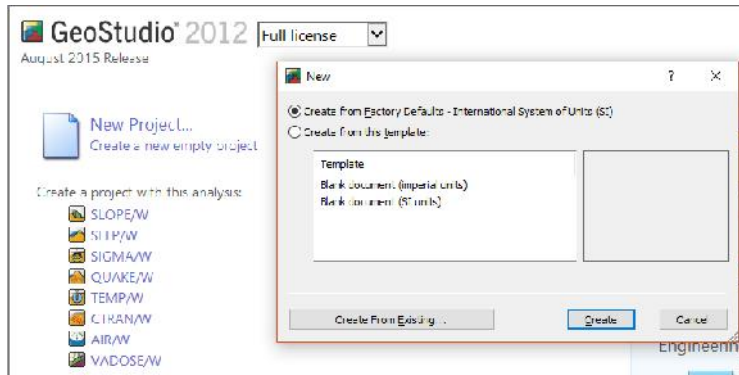
- Mengoperasikan aplikasi GeoStudio SEEP/W 2012.
 - Buka aplikasi GeoStudio.



Gambar 4. 4 Tampilan halaman awal

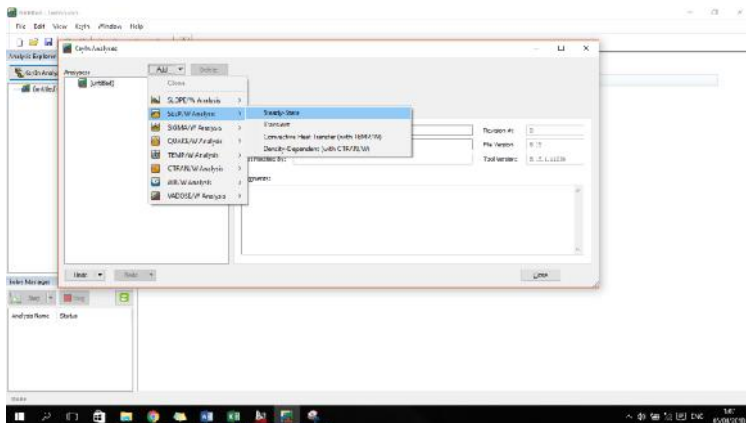
2. Membuat project baru.

- Klik 'New', kemudian pilih *International System of Units* (SI) klik 'create'



Gambar 4. 5 Pemilihan menu New geo-studio

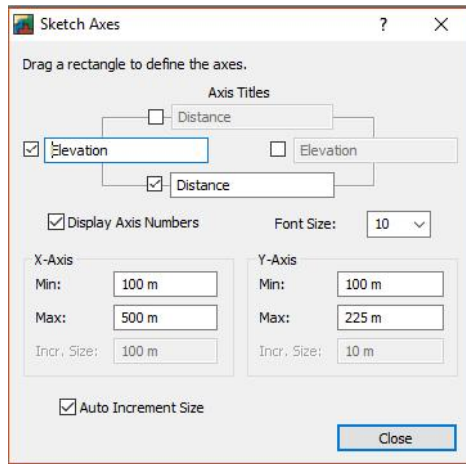
- Ketik nama project di kolom title, kemudian klik 'add' pilih SEEP/W metode Steady-State, lalu klik 'close' untuk memulai analisa rembesan.



Gambar 4. 6 Pemilihan analisa rembesan

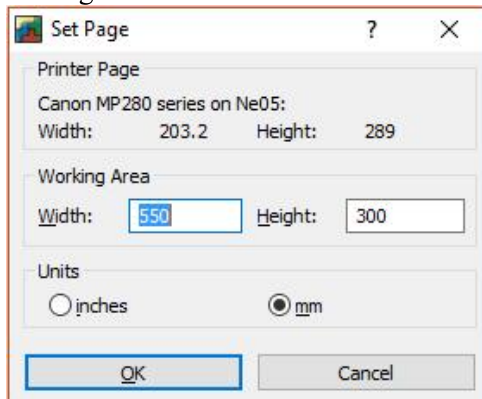
3. Mengatur elevasi dan jarak pada lembar kerja.

a) Klik Sketch → Axes



Gambar 4. 7 Tampilan set axes

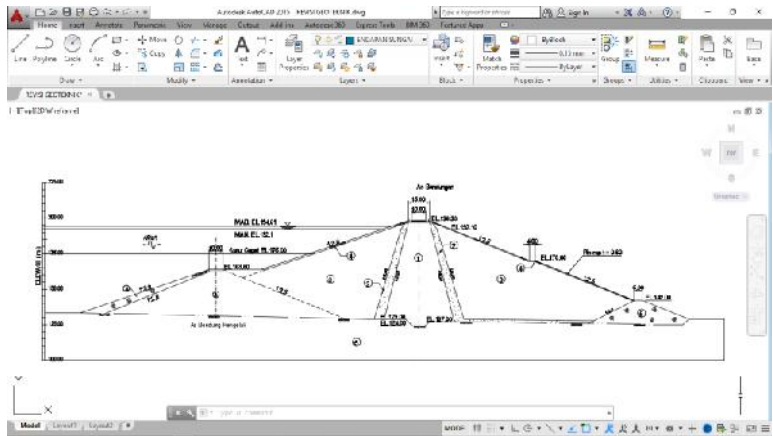
b) Klik Set → Page.



Gambar 4. 8 Tampilan set page

4. Mencari koordinat X dan Y gambar teknik dari aplikasi AutoCAD.

- a) Klik 'id' → enter → klik pada sumbu pertemuan yang akan dicari koordinatnya



Gambar 4. 9 Tampilan tubuh bendungan eksisting AutoCAD

- b) Hasil mencari koordinat dapat dilihat pada tabel 4.4

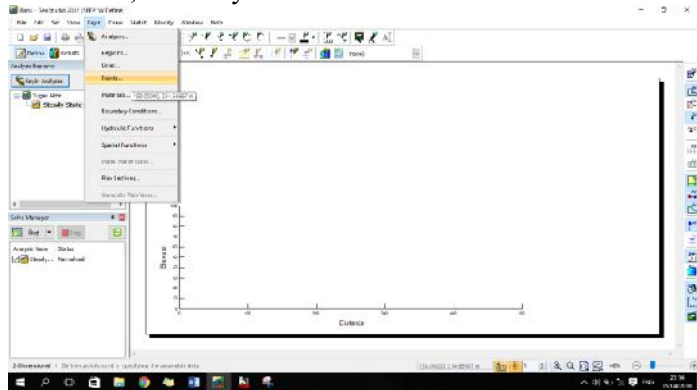
Table 4. 4 Hasil pencarian koordinat eksisting

Titik	Koordinat	
	X	Y
1	25.00	33.29
2	42.65	32.92
3	115.93	62.23
4	115.93	63.60
5	125.93	63.60
6	152.61	63.60
7	156.72	63.60
8	256.71	98.30
9	256.71	96.93
10	271.71	98.30

Titik	Koordinat	
	X	Y
11	271.71	96.93
12	273.52	96.93
13	342.35	69.40
14	342.46	70.00
15	346.46	70.00
16	346.35	69.40
17	415.74	41.64
18	416.46	42.00
19	422.46	42.00
20	455.12	29.00
21	450.64	24.77
22	384.04	25.79
23	387.80	27.67
24	295.83	29.08
25	289.19	27.00
26	276.92	92.10
27	251.50	92.10
28	239.73	29.00
29	232.57	29.00
30	254.71	29.00
31	259.71	24.00
32	268.71	24.00
33	271.71	27.00
34	211.33	29.44
35	139.93	58.00
36	254.35	96.14
37	0.00	33.29
38	480.12	0.00

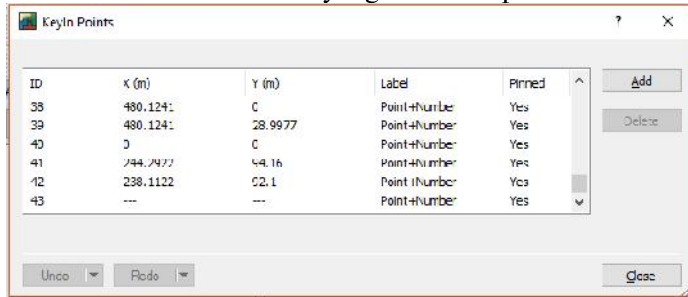
Titik	Koordinat	
	X	Y
39	480.12	29.00
40	0.00	0.00
41	244.29	94.16
42	238.11	92.10
43	0.00	94.16
44	0.00	92.10
45	0.00	75.00
46	186.81	75.00

- c) Kemudian koordinat tersebut digunakan untuk menggambar pada aplikasi GeoStudio.
5. Input koordinat dari aplikasi AutoCAD ke aplikasi GeoStudio.
- a) Untuk menginput data koordinat yang telah didapat dari AutoCAD, klik KeyIn → Point



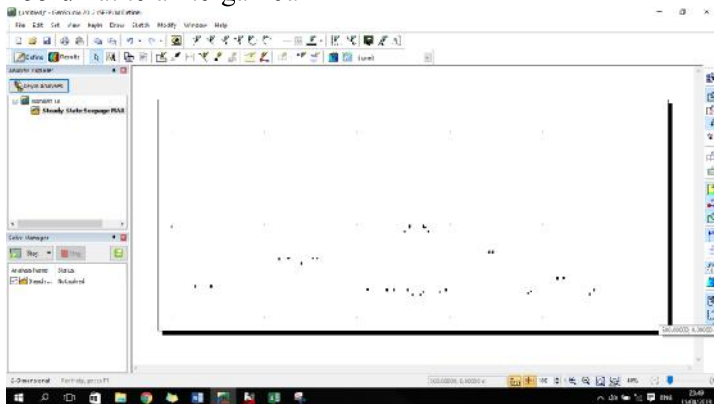
Gambar 4. 10 Tampilan menu KeyIn

- b) Masukan semua koordinat yang telah didapat



Gambar 4. 11 Tampilan input point dari AutoCAD

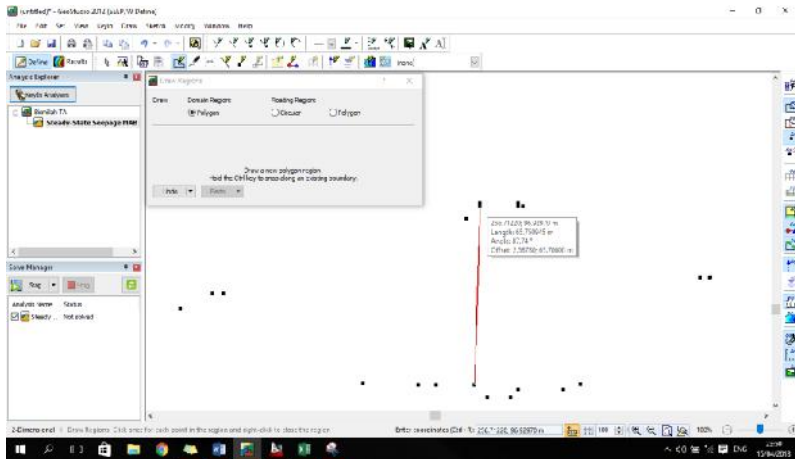
- c) Setelah memasukkan semua koordinat maka titik sumbu koordinat telah tergambar



Gambar 4. 12 Hasil point koordinat yang telah tergambar

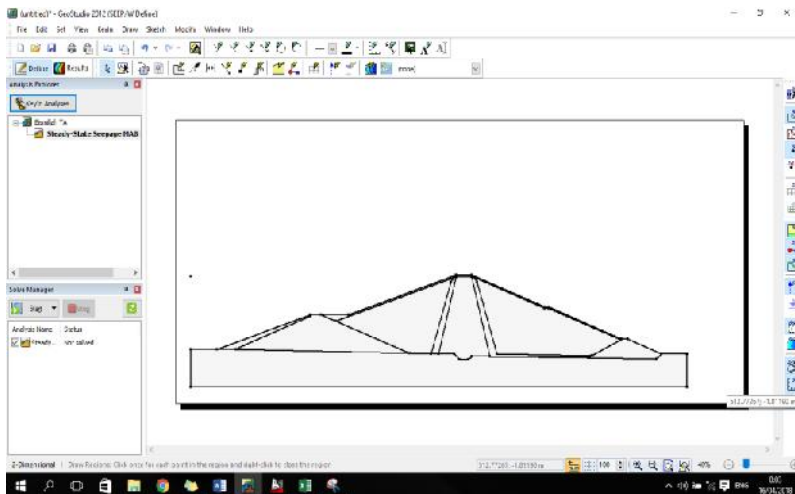
6. Gambar tubuh bendungan.

- a) Hubungkan antar titik sumbu koordinat, klik Draw> Regions, kemudian hubungkan titik sumbu koordinat sesuai dengan gambar teknik



Gambar 4. 13 Gambar region dari tiap titik koordinat

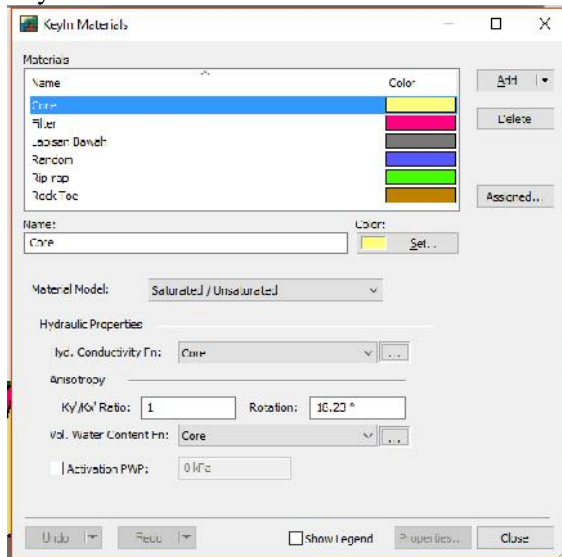
- b) Setelah semua titik koordinat sudah tergambar, bentuk tubuh bendungan sudah terlihat



Gambar 4. 14 Hasil gambar bendungan dari tiap titik koordinat

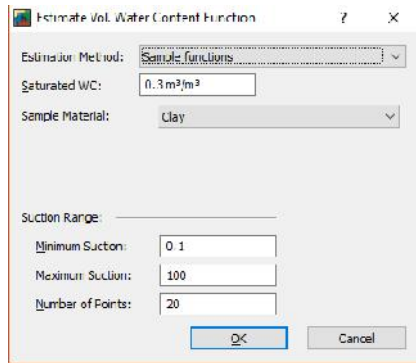
7. Input data material.

- a) Klik KeyIn → Materials → Add new material



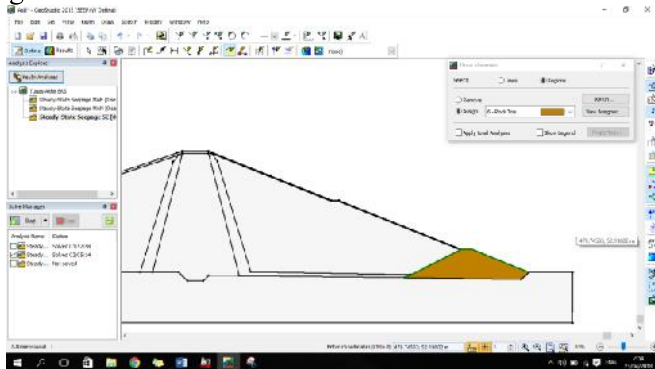
Gambar 4. 15 Tampilan KeyIn material SEEP/W

- b) Ketik nama material, missal : Inti Kedap, dan seterusnya
- c) Untuk jenis material timbunan menggunakan Saturated / Unsaturated, untuk tanah pondasi jenis materialnya menggunakan Saturated Only
- d) Masukkan data material yang telah diketahui
- e) Ratio, didapat dari data material bendungan tukul (kh/kv)
- f) Kill [...] pada Hyd. Conductivity Fn → pilih jenis material → pilih tipe: data point function → klik estimate



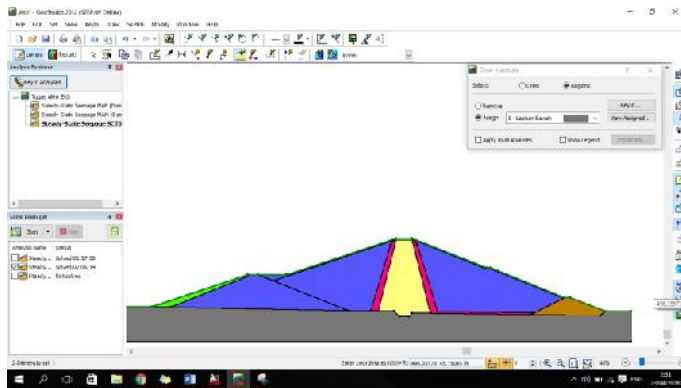
Gambar 4. 18 Tampilan Estimate Vol. Water Content

- j) Setelah itu klik 'ok'.
- 8. Gambar material.
 - a) Klik draw → Material → pilih material yang akan digambar.



Gambar 4. 19 Plot material sesuai region

b) Sampai tergambar semua material tubuh bendungan

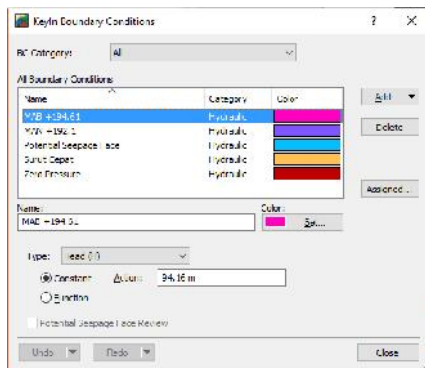


Gambar 4. 20 Gambaran materia kelseluruhan

9. Membuat boundary condition. Pada langkah ini dibagi menjadi 3 bagian permodelan yaitu:

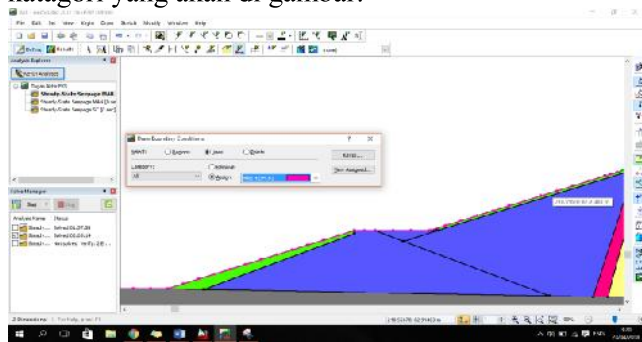
- **Elevasi Muka Air Banjir**

a) Klik KeyIn → Boundary Condition → Add New Hydraulic, ganti nama tersebut dengan MAB +194.61 → Pilih tipe head → isi pilihan dengan elevasi pada koordinat yang telah di dapat pada AutoCAD yaitu +94.66 karena awal koordinat pada AutoCAD adalah +100.00

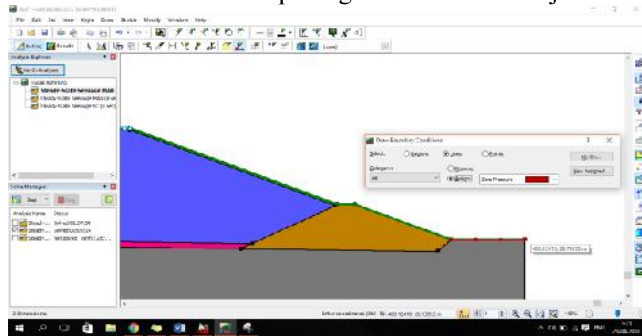


Gambar 4. 21 Tamilan KeyIn Boundary Condition

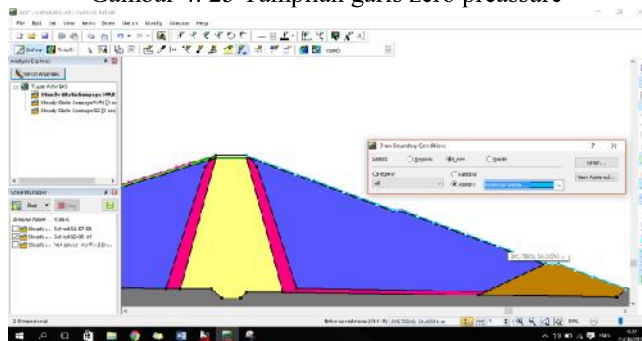
- b) Klik Draw → klik Boundary Condition → pilih katagori yang akan di gambar.



Gambar 4. 22 Tampilan garis Muka Air Banjir

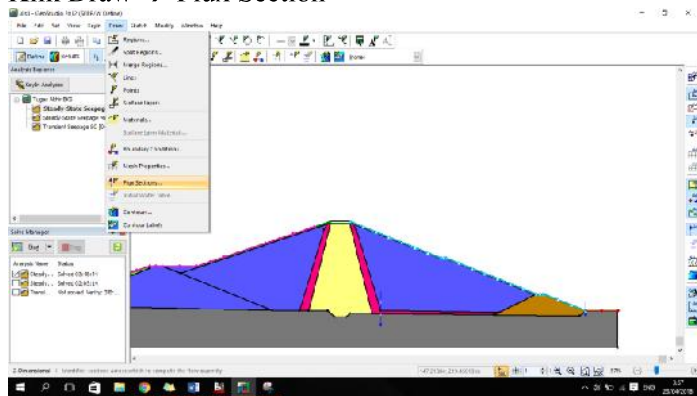


Gambar 4. 23 Tampilan garis zero pressure



Gambar 4. 24 Tampilan potensial seepage

- c) Isi section number
- d) Klik Draw → Flux Section



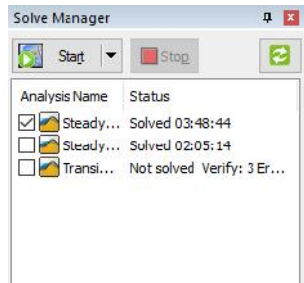
Gambar 4. 25 Tampilan draw

- e) Jika Flux Section lebih dari satu, maka section number diisi nomer berikutnya.



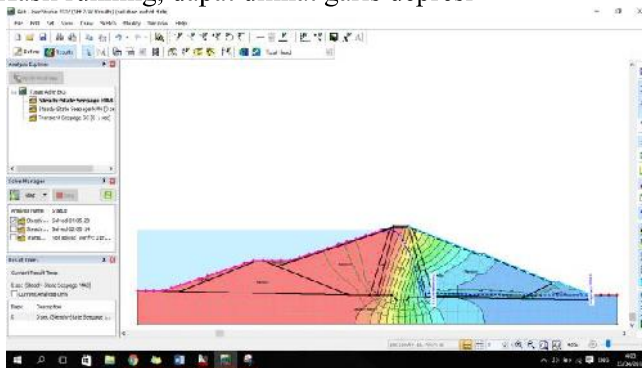
Gambar 4. 26 Tampilan flux section

- f) Jika Flux Section lebih dari 1 (satu), maka section number diisi nomer berikutnya.
- g) Running analisis
- h) Klik Window → Slove Manager



Gambar 4. 27 Tampilan solve manager

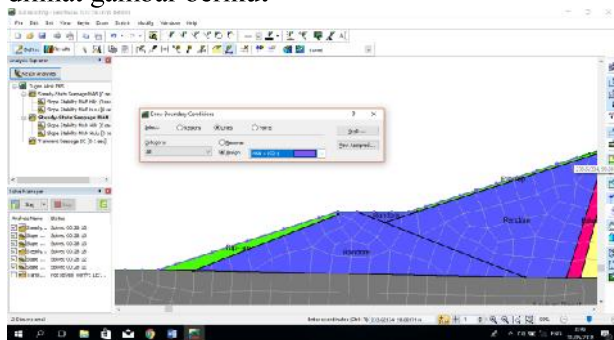
- i) Pilih analisis hingga tercentang → klik start
- j) Hasil running, dapat dilihat garis depresi



Gambar 4. 28 Tampilan hasil running MAB +193.61

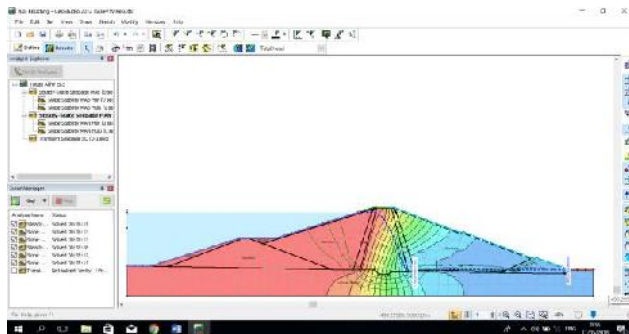
- **Elevasi setinggi Mercu *Spillway* dengan adanya *Dead Storage***
 - a) Klik KeyIn → Boundary Condition → Add New Hydraulic, ganti nama tersebut dengan MAB+192.1 → Pilih tipe head → isi pilihan dengan elevasi pada koordinat yang telah di dapat pada AutoCAD yaitu +92.1 karena awal koordinat pada AutoCAD adalah +100.00
 - b) Untuk langkah berikutnya sama seperti langkah-langkah pada Muka Air Banjir point (b-i), akan tetapi

pada poin b untuk gambar garis muka air normal dapat dilihat gambar berikut



Gambar 4. 29 Tampilan garis Muka Air Normal

c) Hasil running, dapat dilihat garis depresi

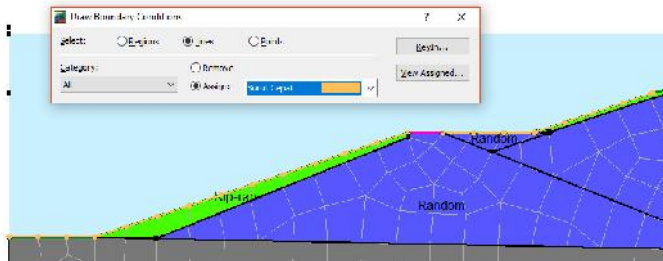


Gambar 4. 30 Hasil running MAN dan Sedimentasi +192.1

- **Surut Cepat**

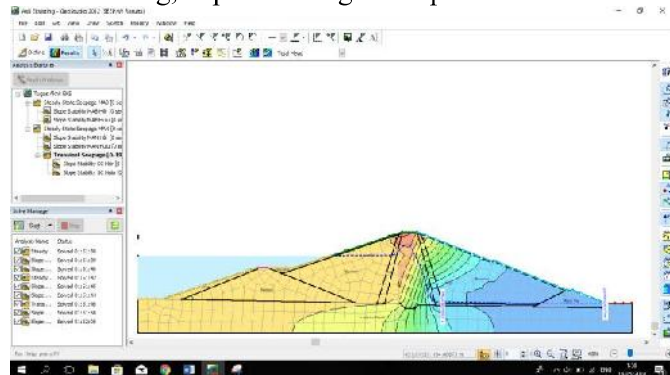
- Klik KeyIn → Boundary Condition → Add New Hydraulic, ganti nama tersebut dengan Surut Cepat +175 → Pilih tipe head → isi pilihan dengan elevasi pada koordinat yang telah di dapat pada AutoCAD yaitu +75 karena awal koordinat pada AutoCAD adalah +100.00
- Untuk langkah berikutnya sama seperti langkah-langkah pada Muka Air Banjir point (b-i), akan tetapi

pada poin b untuk gambar garis muka air normal dapat dilihat gambar berikut



Gambar 4. 31 Tampilan garis surut cepat

c) Hasil running, dapat dilihat garis depresi



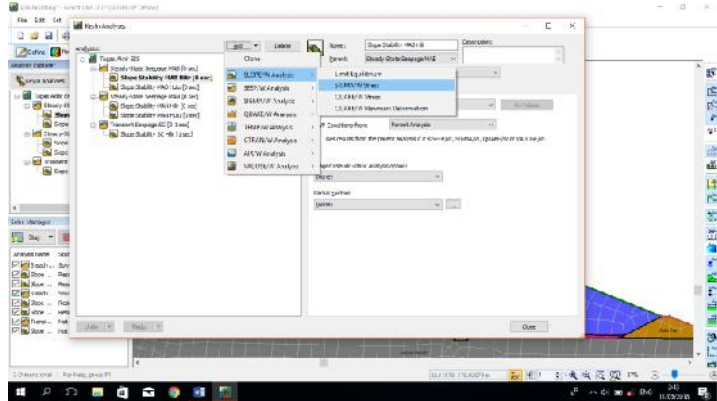
Gambar 4. 32 Hasil running surut cepat +192.1 - 175.00

4.2.2 Analisis Stabilitas Longsoran GeoStudio SLOPE/W Desain Eksisting

Tata cara analisa stabilitas pada desan eksisting menggunakan aplikasi GeoStudio 2012 :

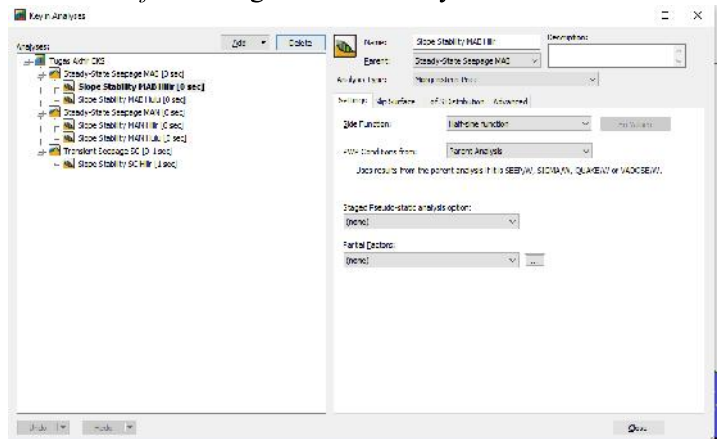
- 1) Menganalisa longsoran terhadap rembesan (SLOPE/W) dari aplikasi SEEP/W yang telah dianalisa.
 - a) Dari hasil analisa rembesan kemudian dapat dilakukan analisa longsoran dengan cara: dari SEEP/W yang kita buat, klik KeyIn → Analisis → Add → SLOPE/W pilih

SIGMA/W Stress. Langkah tersebut dilakukan untuk permodelan yang telah ditentukan.



Gambar 4. 33 Tampilan pemilihan SLOPE/W

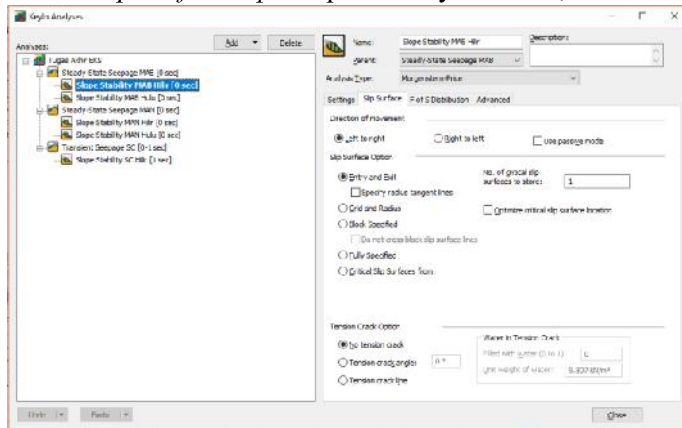
- b) Isi *Analysis* Tipe dengan Morgenstren-Price
- c) Isi *Slide Function* dengan Half-sine Function, dan isi PWP *Conditions from* dengan Parent Analysis



Gambar 4. 34 Tampilan KeyIn Analisis

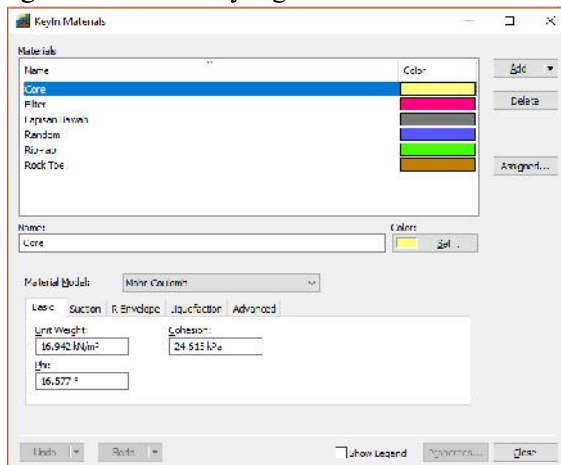
- d) Kemudian klik menu *Slip Surface*, untuk *Direction of movement* pilih left to right (untuk kelongsoran pada bagian

hilir) dan right to left (untuk kelongsoran pada bagian hulu). Untuk *Slip Surface Option* pilih Entry and Exit, lalu *close*



Gambar 4. 35 Tampilan KeyIn Slip Surface

- 2) Masukkan data material yang diketahui kemudian gambar pada tampilan bendungan.
 - a) Isi material dengan cara klik KeyIn → Material, kemudian isi dengan data material yang ada.



Gambar 4. 36 Tampilan KeyIn material SLOPE/W

- b) Setelah semua data material diisi, gambar material dengan cara klik Draw → Material.
- 3) Mengatur *Slip Surface* untuk mengetahui longsor yang akan terjadi.

Left to Right (Hilir)

- a) Draw → Slip Surface → Entry and Exit

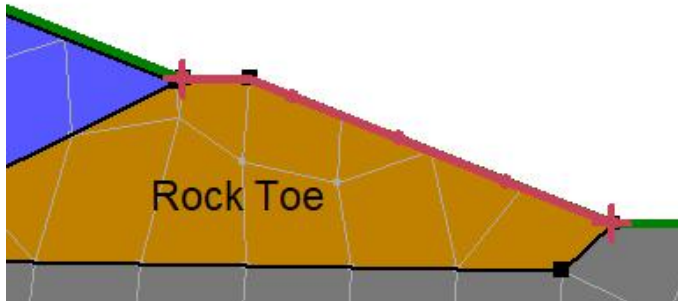
Gambar 4. 37 Tampilan Entry and Exit (Left to Right)

- b) Pilih tipe *Range* untuk bagian *Left Slide*, kemudian klik lalu drag dari ujung sebelah kiri puncak bendungan sampai 1/3 tinggi bendungan pada gambar geo-studio lalu akan terinput secara otomatis pada tampilan tersebut.



Gambar 4. 38 Tampilan bagian Left Slide Hilir

- c) Pilih tipe *Range* untuk bagian *Right Slide*, kemudian klik lalu drag dari ujung potongan antara Rip-rap dengan *RockToe* sampai dengan ujung *RockToe* pada gambar geo-studio lalu akan terinput secara otomatis pada tampilan tersebut



Gambar 4. 39 Tampilan bagian Right Slide Hilir

- d) Kemudian klik Apply → Done

Right to Left (Hulu)

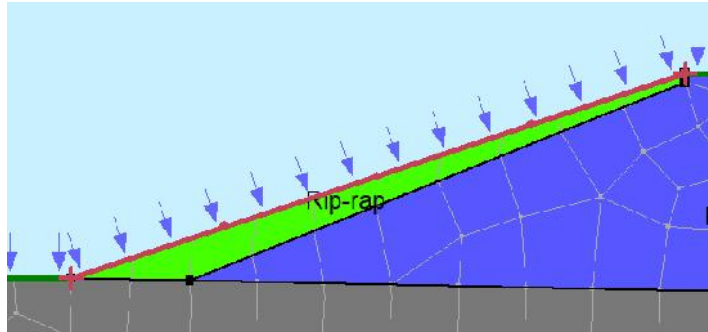
- a) Draw → Slip Surface → Entry and Exit

Exit Range (Left Side)		Entry Range (Right Side)	
Type:	Range	Type:	Range
Left Point:	X: 24.9474 Y: 33.2853	Right Point:	X: 115.87289 Y: 63.58023
Right Point:	X: 271.7122 Y: 98.3	Left Point:	X: 346.4406 Y: 70
Number of increments over range:	4	Number of increments over range:	4
Number of radius increments:		4	
Slip Surface Projection Angle			
<input type="checkbox"/> Use Left (Passive) Projection Angle:		135	
<input type="checkbox"/> Use Right (Active) Projection Angle:		45	
Clear		Apply	
		Done	

Gambar 4. 40 Tampilan Entry and Exit (Right to Left)

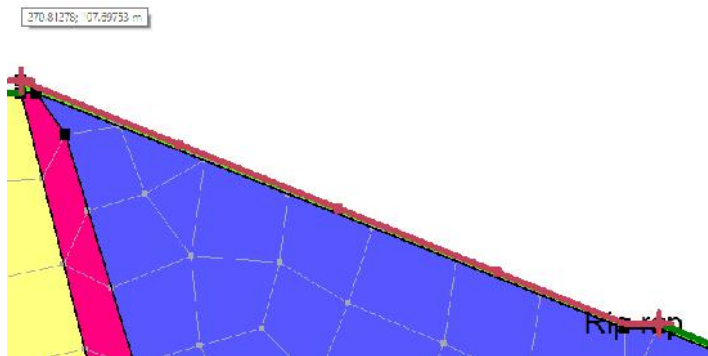
- b) Pilih tipe *Range* untuk bagian *Left Slide*, kemudian klik lalu drag dari ujung bawah Rip-rap sebelah kiri bendungan

sampai dengan ujung atas Rip-rap pada gambar geo-studio lalu akan terinput secara otomatis pada tampilan tersebut



Gambar 4. 41 Tampilan bagian Left Slide Hulu

- c) Pilih tipe *Range* untuk bagian *Right Slide*, kemudian klik lalu drag dari ujung sebelah kanan puncak bendungan sampai 1/3 tinggi bendungan pada gambar geo-studio lalu akan terinput secara otomatis pada tampilan tersebut



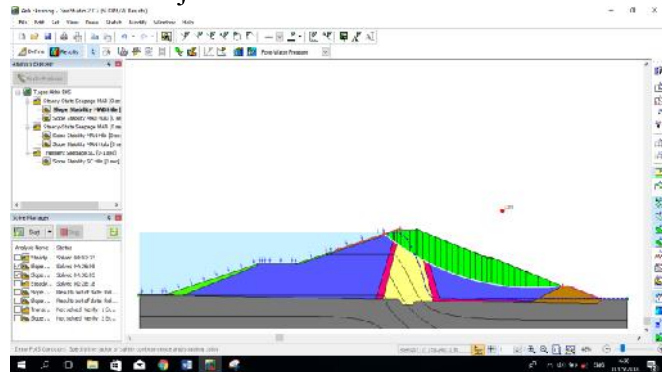
Gambar 4. 42 Tampilan bagian Right Slide Hulu

- d) Kemudian klik Apply → Done
- 4) Running
- Klik window → slope manager
 - Hasil analisa bentuk longsor dapat dilihat pada permodelan yang telah ditentukan

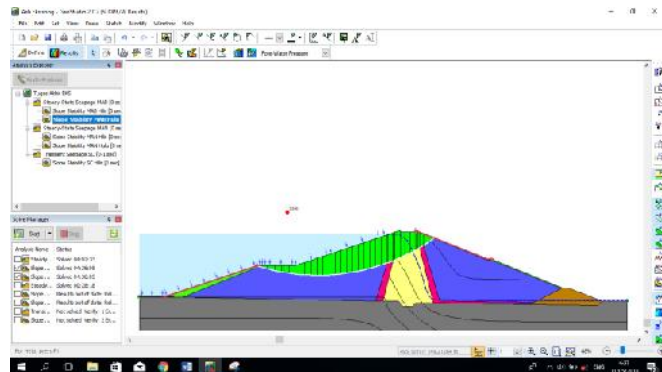
- **Elevasi Muka Air Banjir**

- a) Hasil analisa longsor

Terdapat 2 hasil analisa longsor pada permodelan Muka Air Banjir

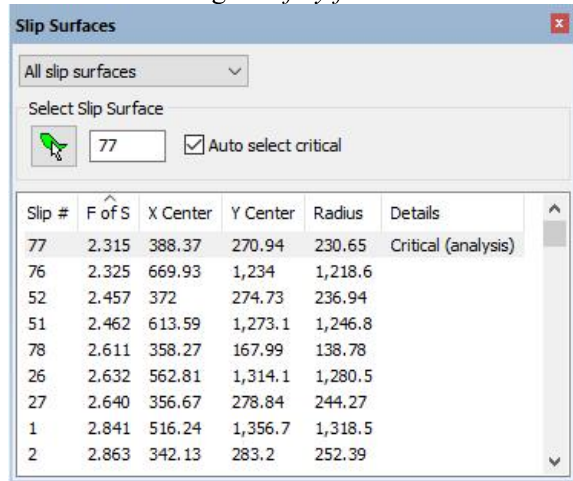


Gambar 4. 43 Hasil analisis longsor MAB bagian Hilir



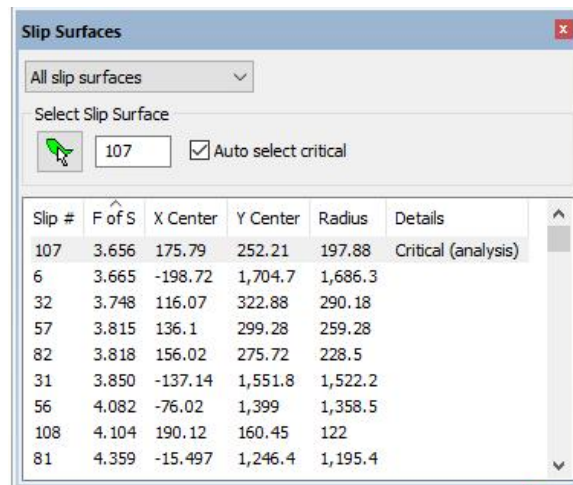
Gambar 4. 44 Hasil analisis longsor MAB bagian Hulu

b) Untuk melihat angka *safety factor*



Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
77	2.315	388.37	270.94	230.65	Critical (analysis)
76	2.325	669.93	1,234	1,218.6	
52	2.457	372	274.73	236.94	
51	2.462	613.59	1,273.1	1,246.8	
78	2.611	358.27	167.99	138.78	
26	2.632	562.81	1,314.1	1,280.5	
27	2.640	356.67	278.84	244.27	
1	2.841	516.24	1,356.7	1,318.5	
2	2.863	342.13	283.2	252.39	

Gambar 4. 45 Hasil angka safety factor MAB bagian Hilir



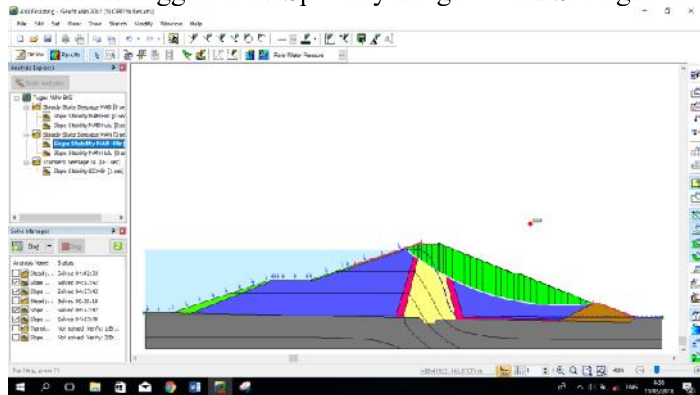
Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
107	3.656	175.79	252.21	197.88	Critical (analysis)
6	3.665	-198.72	1,704.7	1,686.3	
32	3.748	116.07	322.88	290.18	
57	3.815	136.1	299.28	259.28	
82	3.818	156.02	275.72	228.5	
31	3.850	-137.14	1,551.8	1,522.2	
56	4.082	-76.02	1,399	1,358.5	
108	4.104	190.12	160.45	122	
81	4.359	-15.497	1,246.4	1,195.4	

Gambar 4. 46 Hasil angka safety factor MAB bagian Hulu

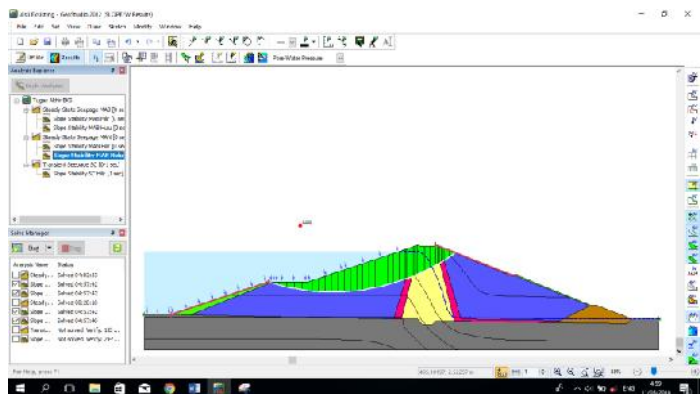
- **Elevasi setinggi Mercu *Spillway* dengan adanya *Dead Storage***

- a) Hasil analisa longsoran

Terdapat 2 hasil analisa longsoran pada permodelan Elevasi setinggi Mercu Spillway dengan Dead Storage

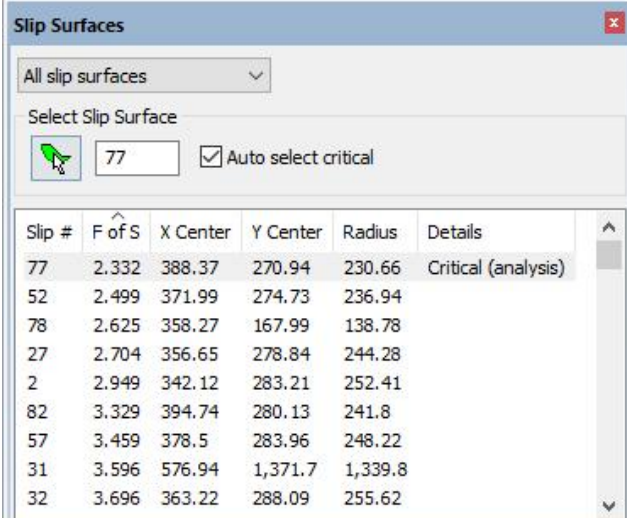


Gambar 4. 47 Hasil analisis longsoran MAN bagian hilir



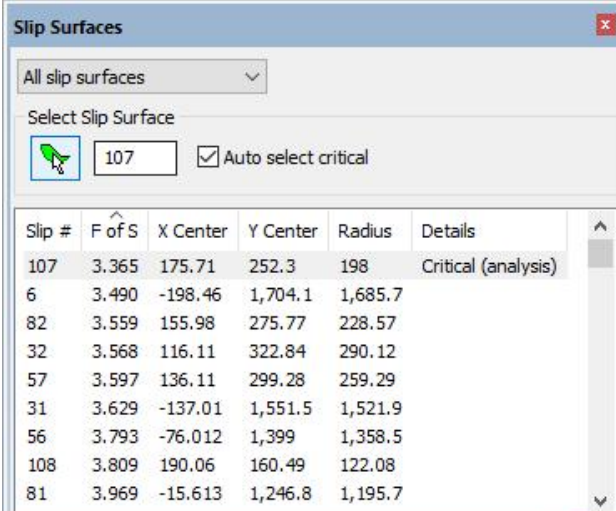
Gambar 4. 48 Hasil analisis longsoran MAN bagian hulu

b) Untuk melihat angka *safety factor*



Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
77	2.332	388.37	270.94	230.66	Critical (analysis)
52	2.499	371.99	274.73	236.94	
78	2.625	358.27	167.99	138.78	
27	2.704	356.65	278.84	244.28	
2	2.949	342.12	283.21	252.41	
82	3.329	394.74	280.13	241.8	
57	3.459	378.5	283.96	248.22	
31	3.596	576.94	1,371.7	1,339.8	
32	3.696	363.22	288.09	255.62	

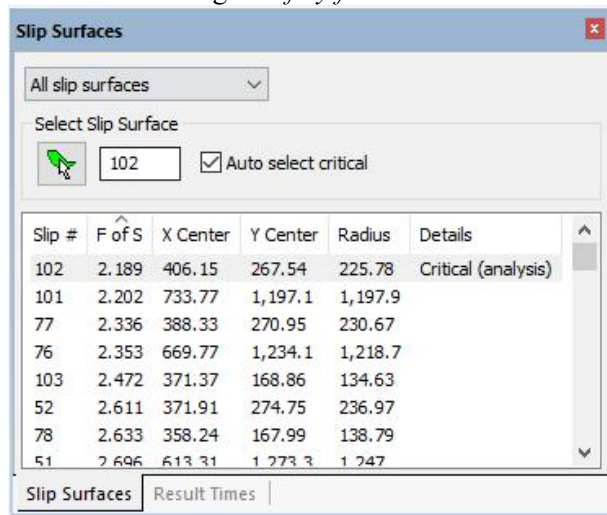
Gambar 4. 49 Hasil angka safety factor MAN bagian Hilir



Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
107	3.365	175.71	252.3	198	Critical (analysis)
6	3.490	-198.46	1,704.1	1,685.7	
82	3.559	155.98	275.77	228.57	
32	3.568	116.11	322.84	290.12	
57	3.597	136.11	299.28	259.29	
31	3.629	-137.01	1,551.5	1,521.9	
56	3.793	-76.012	1,399	1,358.5	
108	3.809	190.06	160.49	122.08	
81	3.969	-15.613	1,246.8	1,195.7	

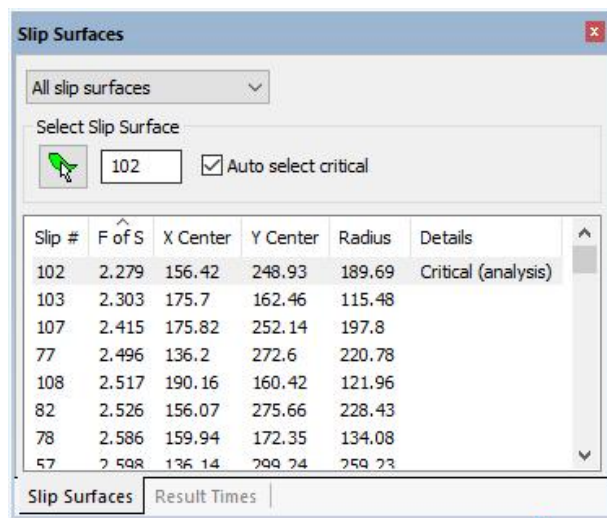
Gambar 4. 50 Hasil angka safety factor MAN bagian Hilir

b) Untuk melihat angka *safety factor*



Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
102	2.189	406.15	267.54	225.78	Critical (analysis)
101	2.202	733.77	1,197.1	1,197.9	
77	2.336	388.33	270.95	230.67	
76	2.353	669.77	1,234.1	1,218.7	
103	2.472	371.37	168.86	134.63	
52	2.611	371.91	274.75	236.97	
78	2.633	358.24	167.99	138.79	
51	2.696	613.31	1,273.3	1,247	

Gambar 4. 53 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hilir



Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
102	2.279	156.42	248.93	189.69	Critical (analysis)
103	2.303	175.7	162.46	115.48	
107	2.415	175.82	252.14	197.8	
77	2.496	136.2	272.6	220.78	
108	2.517	190.16	160.42	121.96	
82	2.526	156.07	275.66	228.43	
78	2.586	159.94	172.35	134.08	
57	2.598	136.14	299.24	259.23	

Gambar 4. 54 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hulu

4.2.3 Analisis Rembesan Geostudio SEEP/W Desain Alternatif I

Pada analisa rembesan langkah pengerjaan sama seperti langkah pengerjaan pada desain eksisting bendungan tukul yang meliputi nomor 1-3.

Untuk poin b pada nomor 4 diketahui koordinat yang berbeda yang mana dapat dilihat pada table 4.5.

Table 4. 5 Hasil pencarian koordinat alternatif I

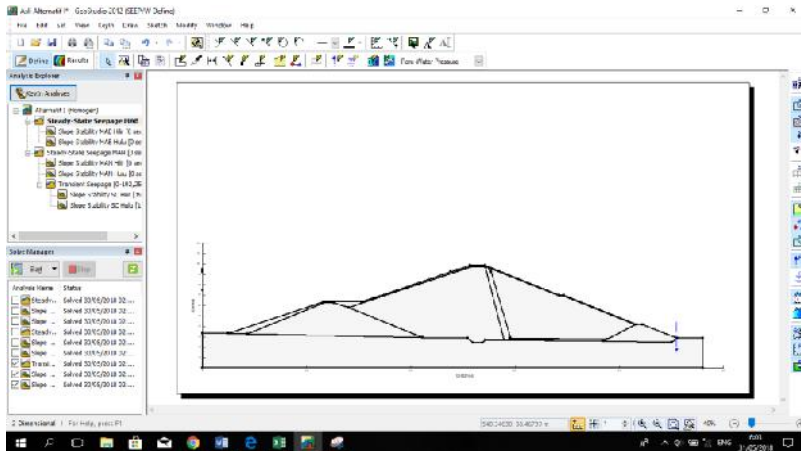
Titik	Koordinat	
	X	Y
1	25.00	33.29
2	42.65	32.92
3	115.93	62.23
4	115.93	63.60
5	125.93	62.23
6	125.93	63.60
7	152.61	63.60
8	156.72	63.60
9	139.93	58.00
10	211.33	29.44
11	256.71	98.30
12	256.71	96.93
13	271.71	96.93
14	271.71	98.30
15	273.52	96.93
16	342.46	70.00
17	342.35	69.40
18	346.46	70.00
19	346.35	69.40
20	416.46	42.00
21	415.74	41.64
22	422.46	42.00

Titik	Koordinat	
	X	Y
23	455.12	29.00
24	450.64	24.77
25	384.04	25.79
26	271.71	27.00
27	268.71	24.00
28	259.71	24.00
29	254.71	29.00
30	0.00	33.29
31	0.00	0.00
32	480.12	29.00
33	480.12	0.00
34	0.00	75.00
35	0.00	92.10
36	0.00	94.61
37	276.92	92.10
38	289.19	27.00
39	295.83	29.08
40	387.80	27.67
41	387.80	27.67
42	244.29	94.16
43	238.11	92.1
44	186.81	75

- c) Kemudian koordinat tersebut digunakan untuk menggambar main dam pada aplikasi geo-studio

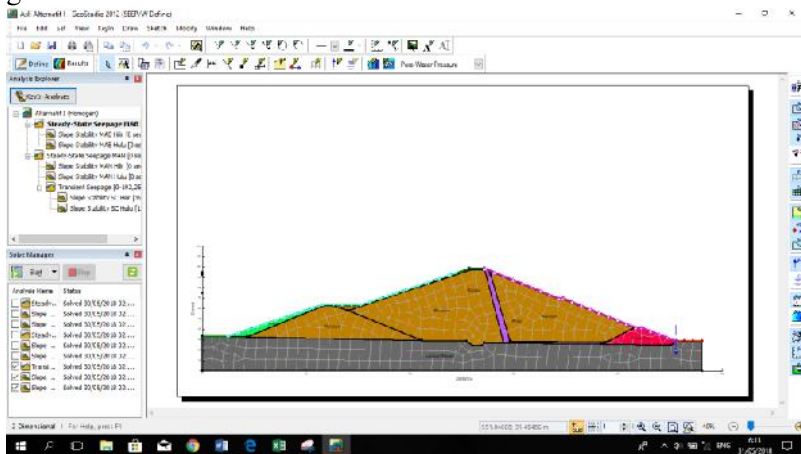
Untuk langkah selanjutnya sama seperti nomer 5-6 pada desain eksisting.

Pada nomer 6 poin b terdapat perbedaan pada gambar di program geo-studio yang mana dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 55 Hasil gambar desain alternatif I

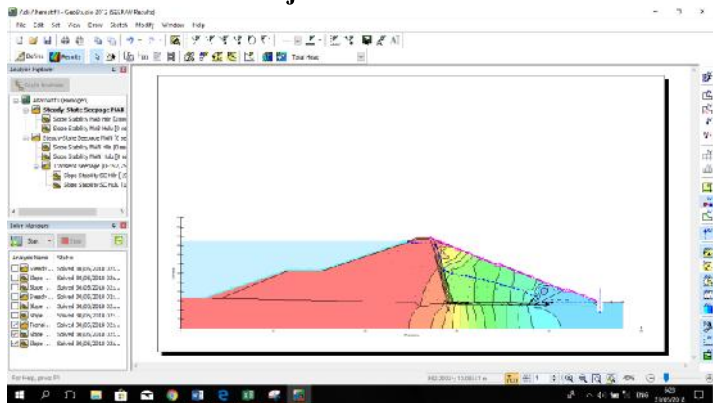
Tahapan selanjutnya sama seperti nomor 7-8 pada desain eksisting. Setelah menginput data material seperti pada nomor 7 desain eksisting, dapat dilakukan penggambaran pada desain alternatif I. Hasil gambar desain alternatif I dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 56 Gambar material keseluruhan desain alternatif I

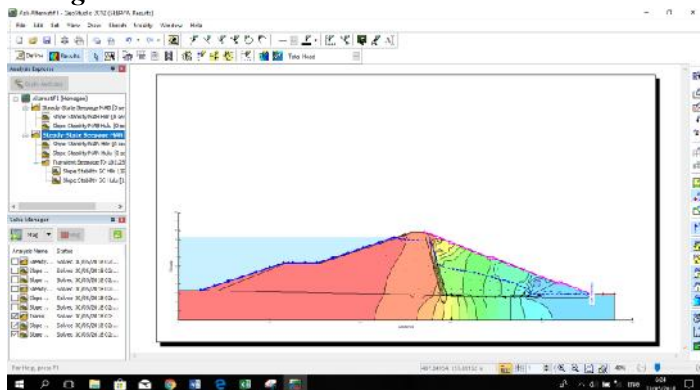
Pada tahapan selanjutnya yaitu membuat boundary condition. Pada langkah ini dibagi menjadi 3 bagian permodelan yang sama serta tahapan analisis dilakukan dengan cara yang sama seperti pada desain eksisting antara lain:

- **Elevasi Muka Air Banjir**



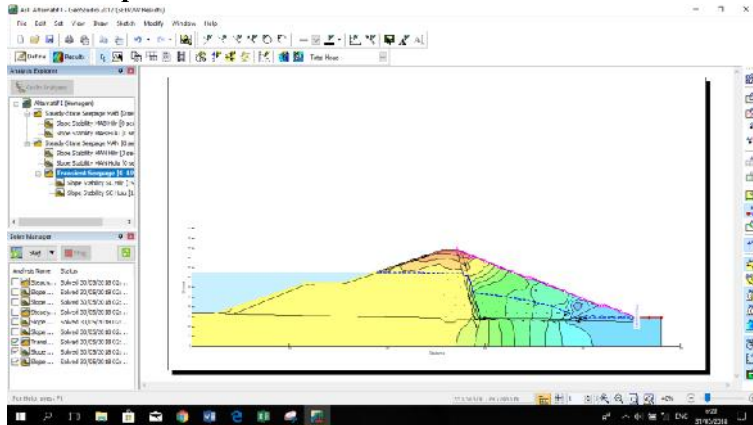
Gambar 4. 57 Tampilan hasil running MAB desain alternatif I

- **Elevasi setinggi Mercuri *Spillway* dengan adanya *Dead Storage***



Gambar 4. 58 Hasil running Elv setinggi mercuri Spillway desain alternatif I

- **Surut Cepat**



Gambar 4. 59 Hasil running surut cepat desain alternatif I

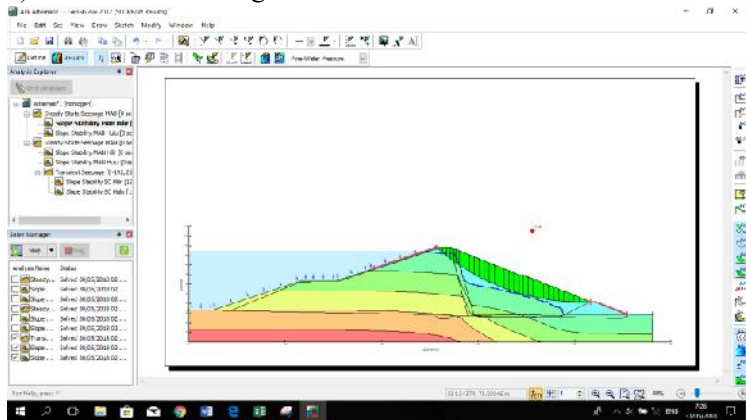
4.2.4 Analisis Stabilitas Longsoran GeoStudio SLOPE/W Desain Alternatif I

Langkah-langkah analisa ini dilakukan sama seperti pada desain eksisting bendungan. Pada tahapan ini dilakukan analisa longsor pada bagian hulu dan hilir bendungan. Hasil analisis stabilitas yaitu untuk mendapatkan angka *safety factor* pada desain bendungan dengan permodelan yang telah dijelaskan pada bab III.

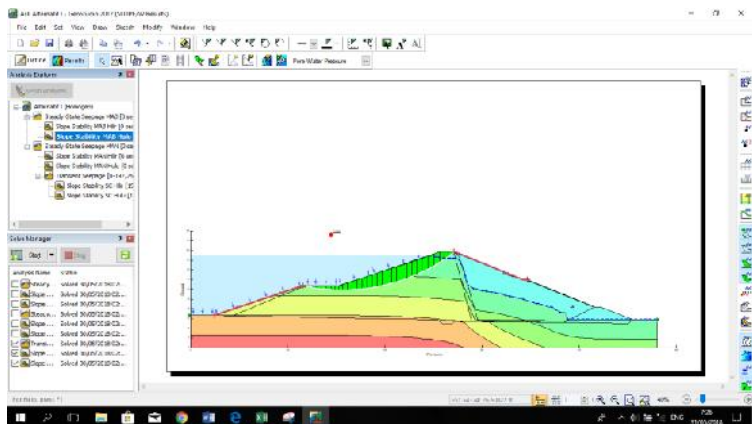
Data material yang telah diketahui kemudian di inputkan kedalam aplikasi geo-studio, akan tetapi pada desain alternatif I ini tidak memasukan data material kedap.

Berikut adalah hasil analisa stabilitas desain alternatif I dengan permodelan yang telah di tentukan:

- **Elevasi Muka Air Banjir**
 - a) Hasil analisa longsor

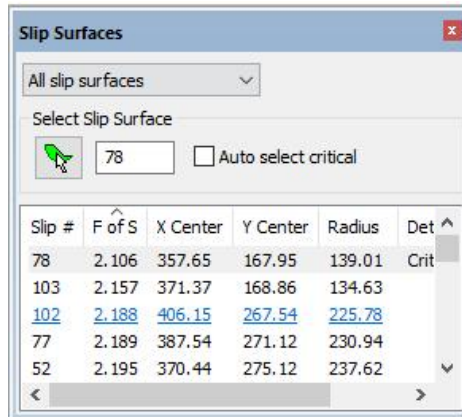


Gambar 4. 60 Hasil analisa longsor MAB bagian hilir (alternatif I)



Gambar 4. 61 Hasil analisa longsor MAB bagian hulu (alternatif I)

b) Untuk melihat angka *safety factor*



Slip Surfaces

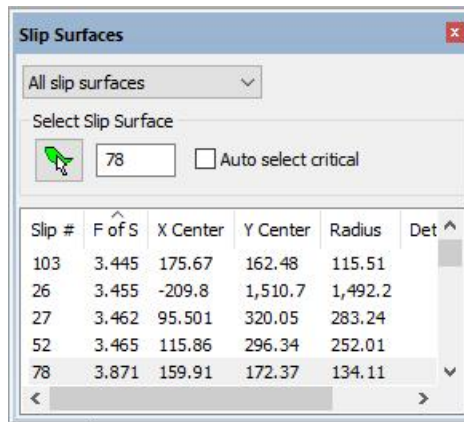
All slip surfaces

Select Slip Surface

78 ☐ Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Det
78	2.106	357.65	167.95	139.01	Crit
103	2.157	371.37	168.86	134.63	
<u>102</u>	<u>2.188</u>	<u>406.15</u>	<u>267.54</u>	<u>225.78</u>	
77	2.189	387.54	271.12	230.94	
52	2.195	370.44	275.12	237.62	

Gambar 4. 62 Hasil angka safety factor MAB bagian hilir (alternatif I)



Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

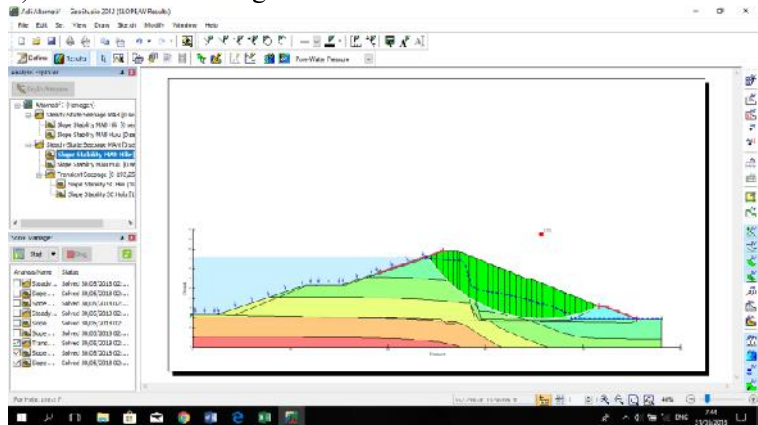
78 ☐ Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Det
103	3.445	175.67	162.48	115.51	
26	3.455	-209.8	1,510.7	1,492.2	
27	3.462	95.501	320.05	283.24	
52	3.465	115.86	296.34	252.01	
<u>78</u>	<u>3.871</u>	<u>159.91</u>	<u>172.37</u>	<u>134.11</u>	

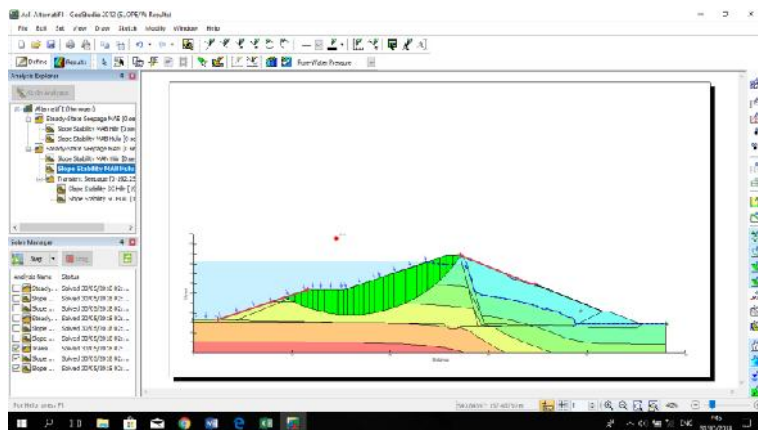
Gambar 4. 63 Hasil angka safety factor MAB bagian hulu (alternatif I)

- Elevasi setinggi Mercu *Spillway* dengan adanya *Dead Storage*

a) Hasil analisa longsor

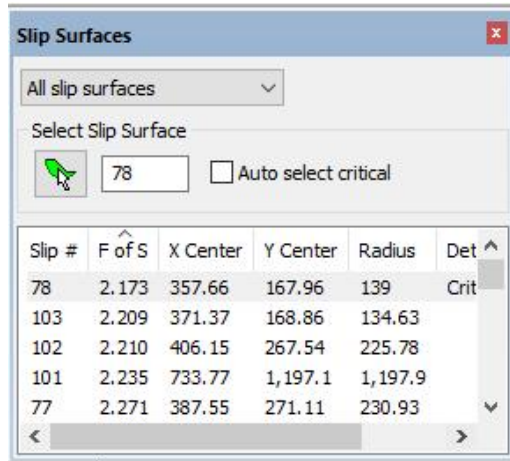


Gambar 4. 64 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif I)



Gambar 4. 65 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif I)

b) Untuk melihat angka *safety factor*



Slip Surfaces

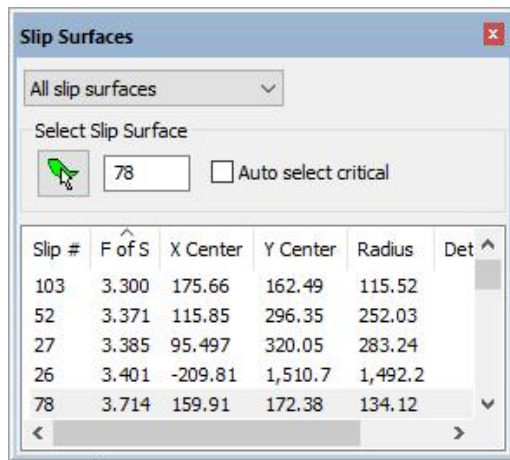
All slip surfaces

Select Slip Surface

78 ☐ Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Det
78	2.173	357.66	167.96	139	Crit
103	2.209	371.37	168.86	134.63	
102	2.210	406.15	267.54	225.78	
101	2.235	733.77	1,197.1	1,197.9	
77	2.271	387.55	271.11	230.93	

Gambar 4. 66 Hasil angka *safety factor* Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif I)



Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

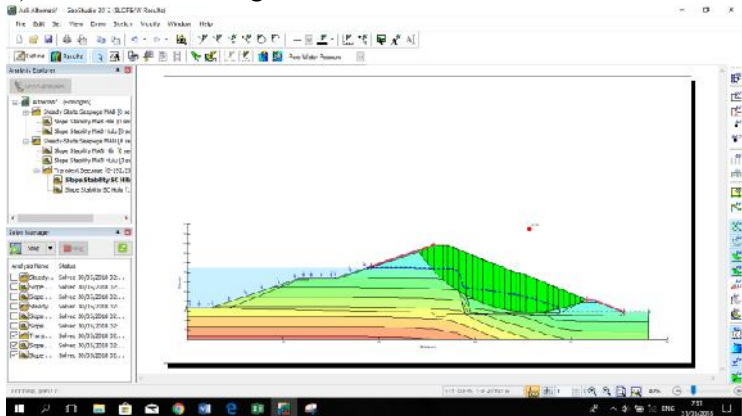
78 ☐ Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Det
103	3.300	175.66	162.49	115.52	
52	3.371	115.85	296.35	252.03	
27	3.385	95.497	320.05	283.24	
26	3.401	-209.81	1,510.7	1,492.2	
78	3.714	159.91	172.38	134.12	

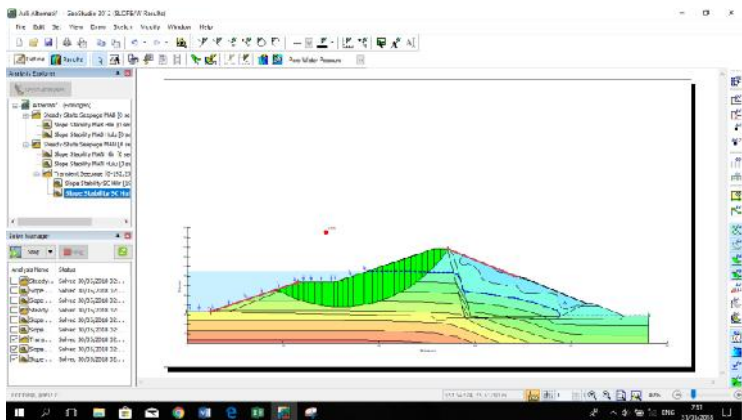
Gambar 4. 67 Hasil angka *safety factor* Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif I)

- **Surut Cepat**

- a) Hasil analisa longsor

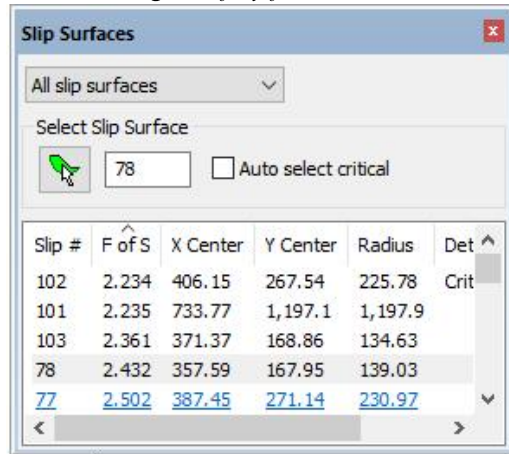


Gambar 4. 68 Hasil analisa longsor Surut Cepat bagian hilir (alternatif I)



Gambar 4. 69 Hasil analisa longsor Surut Cepat bagian hulu (alternatif I)

b) Untuk melihat angka *safety factor*



Slip Surfaces

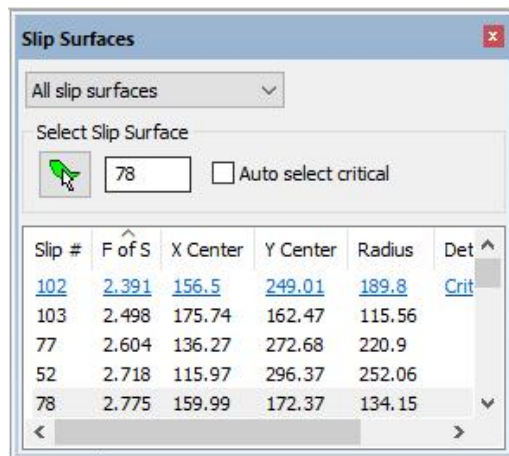
All slip surfaces

Select Slip Surface

☒ 78 ☐ Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Det
102	2.234	406.15	267.54	225.78	Crit
101	2.235	733.77	1,197.1	1,197.9	
103	2.361	371.37	168.86	134.63	
78	2.432	357.59	167.95	139.03	
77	2.502	387.45	271.14	230.97	

Gambar 4. 70 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hilir (alternatif I)



Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

☒ 78 ☐ Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Det
102	2.391	156.5	249.01	189.8	Crit
103	2.498	175.74	162.47	115.56	
77	2.604	136.27	272.68	220.9	
52	2.718	115.97	296.37	252.06	
78	2.775	159.99	172.37	134.15	

Gambar 4. 71 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hulu (alternatif I)

4.2.5 Analisis Rembesan GeoStudio SEEP/W Desain Alternatif II

Untuk melakukan analisis pada desain alternative II dibutuhkan koordinat yang mana dapat dicari pada AutoCAD, gambar desain tipe bendungan alternatif II dapat dilihat pada sub Bab sebelumnya tepatnya 4.1.2.

Langkah pengerjaan analisis rembesan pada tipe ini sama seperti analisis rembesan pada tipe eksisting meliputi 1-3. Sedangkan bentuk poin b pada nomor 4 diketahui koordinat yang berbeda yang mana dapat dilihat pada table 4.6.

Table 4. 6 Hasil pencarian koordinat alternatif II

Titik	Koordinat	
	X	Y
1	25.00	33.29
2	42.65	32.92
3	115.93	62.23
4	115.93	63.60
5	125.93	63.60
6	152.61	63.60
7	156.72	63.60
8	256.71	98.30
9	256.71	96.93
10	271.71	98.30
11	271.71	96.93
12	273.52	96.93
13	342.35	69.40
14	342.46	70.00
15	346.46	70.00
16	346.35	69.40
17	415.74	41.64
18	416.46	42.00

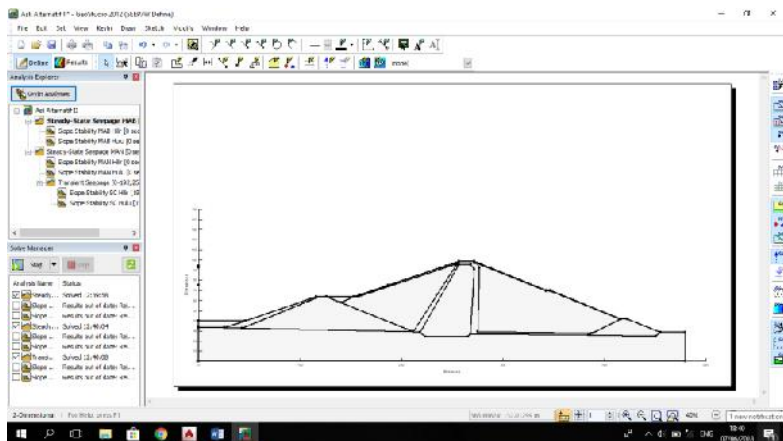
Titik	Koordinat	
	X	Y
19	422.46	42.00
20	455.12	29.00
21	450.64	24.77
22	384.04	25.79
23	387.80	27.67
28	239.73	29.00
29	232.57	29.00
30	254.71	29.00
31	259.71	24.00
32	268.71	24.00
33	271.71	27.00
34	211.33	29.44
35	139.93	58.00
37	0.00	33.29
38	480.12	0.00
39	480.12	29.00
40	0.00	0.00
41	244.29	94.16
42	238.11	92.10
43	0.00	94.16
44	0.00	92.10
45	0.00	75.00
46	186.81	75.00
47	0.00	40.29
48	46.00	40.29
49	211.28	29.36
50	218.27	29.06
51	223.27	24.06

Titik	Koordinat	
	X	Y
52	264.81	24.00
53	267.81	27.00
54	254.35	96.14
55	255.60	94.96
56	256.24	95.18
57	268.18	95.18
58	271.36	90.65
59	276.92	92.10
60	275.10	29.40

c) Kemudian koordinat tersebut digunakan untuk menggambar main dam pada aplikasi geo-studio.

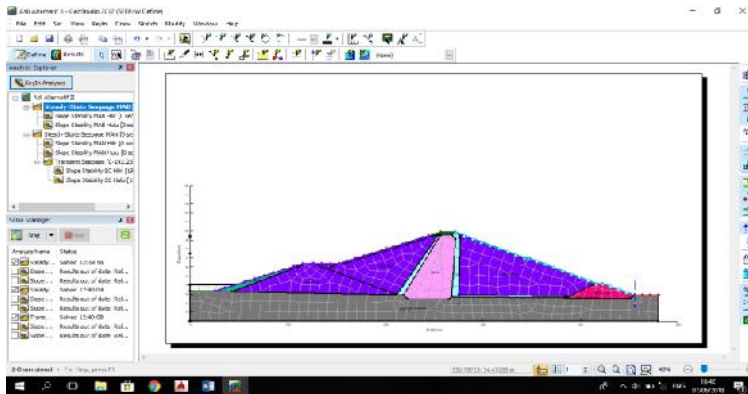
Untuk langkah selanjutnya sama seperti nomer 5-6 pada desain eksisting.

Pada nomer 6 poin b terdapat perbedaan pada gambar di program geo-studio yang mana dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 72 Hasil gambar desain alternatif II

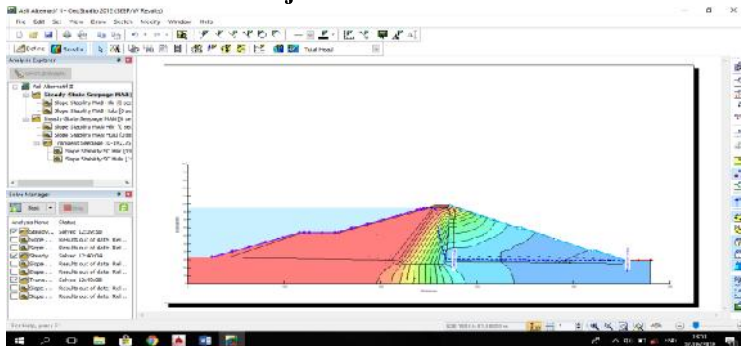
Tahapan selanjutnya sama seperti nomor 7-8 pada desain eksisting. Setelah menginput data material seperti pada nomor 7 desain eksisting, dapat dilakukan penggambaran pada desain alternatif I. Hasil gambar desain alternatif I dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 73 Gambar material keseluruhan desain alternatif II

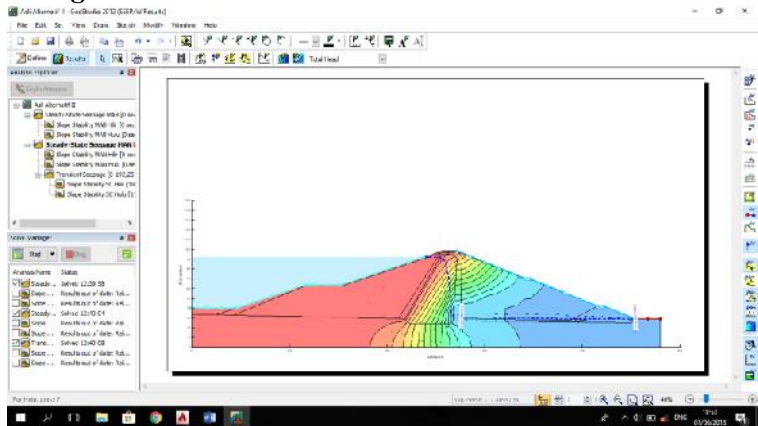
Pada tahapan selanjutnya yaitu membuat boundary condition. Pada langkah ini dibagi menjadi 3 bagian permodelan yang sama serta tahapan analisis dilakukan dengan cara yang sama seperti pada desain eksisting antara lain:

- **Elevasi Muka Air Banjir**



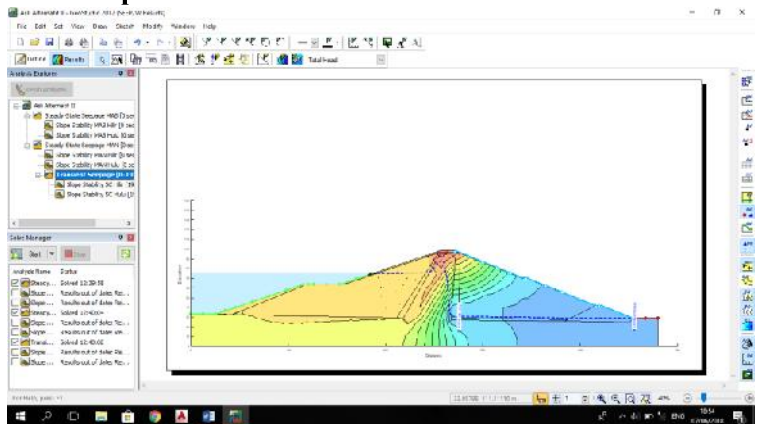
Gambar 4. 74 Tampilan hasil running MAB desain alternatif II

- Elevasi setinggi Mercu Spillway dengan adanya *Dead Storage*

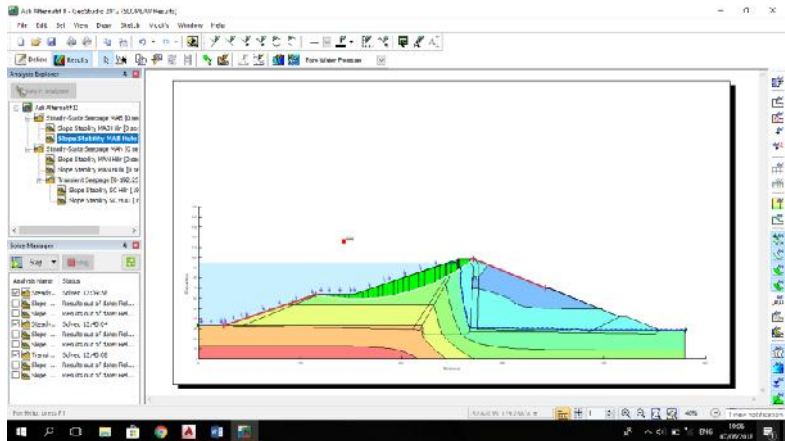


Gambar 4. 75 Hasil running Elv setinggi mercu Spillway desain alternatif II

- Surut Cepat



Gambar 4. 76 Hasil running surut cepat desain alternatif II




Gambar 4. 78 Hasil analisa longsor MAB bagian hulu (alternatif II)

b) Untuk melihat angka *safety factor*

Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

 102 ☒ Auto select critical


Slip #	F of S	X Cen...	Y Center	Radius	Details
102	2.207	406.15	267.54	225.78	Critical
101	2.221	733.77	1,197.1	1,197.9	
76	2.324	679.49	1,228	1,214.8	
77	2.346	391.09	270.37	229.78	
51	2.487	630.77	1,260.5	1,237.2	

Gambar 4. 79 Hasil angka *safety factor* MAB bagian hilir (alternatif II)

Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

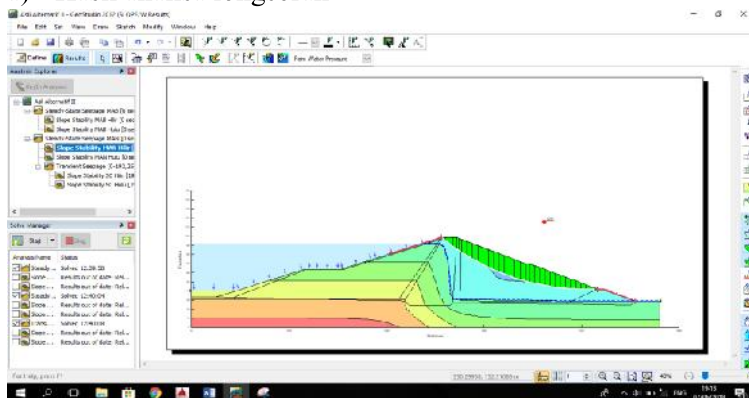
 102 ☒ Auto select critical

Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
102	2.729	156.39	249	189.76	Critical
77	3.128	136.15	272.66	220.86	
103	3.139	175.66	162.49	115.52	
1	3.223	-272.82	1,664.1	1,657.8	
52	3.278	115.85	296.35	252.03	

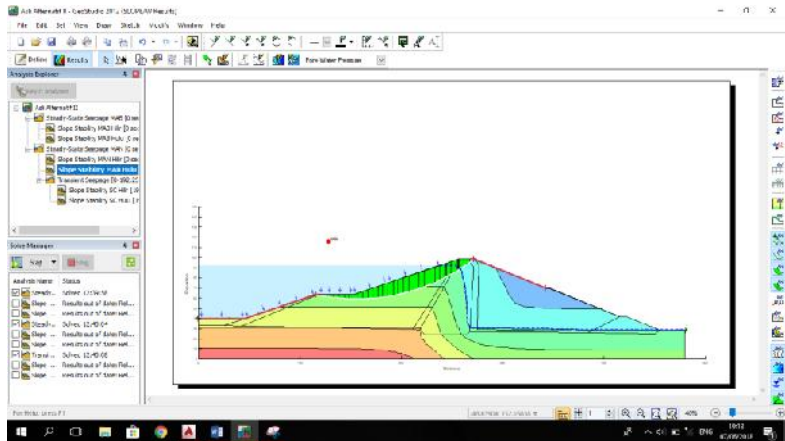
Gambar 4. 80 Hasil angka safety factor MAB bagian hulu (alternatif II)

- Elevasi setinggi Mercu *Spillway* dengan adanya *Dead Storage*

a) Hasil analisa longsoran



Gambar 4. 81 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif II)



Gambar 4. 82 Hasil analisa longsoran Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif II)

b) Untuk melihat angka *safety factor*

Slip Surfaces

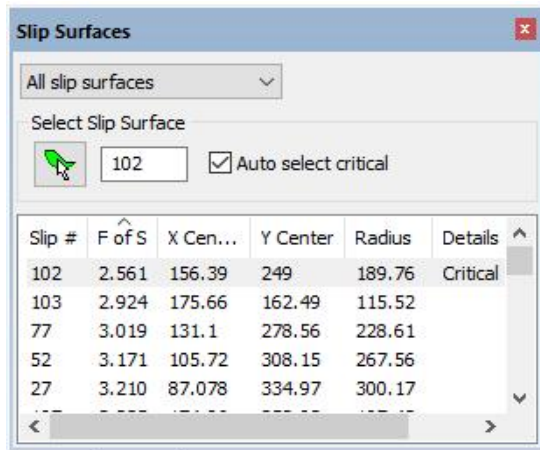
All slip surfaces

Select Slip Surface

☒ 102 ☒ Auto select critical

Slip #	F of S	X Cen...	Y Center	Radius	Details
102	2.207	406.15	267.54	225.78	Critical
101	2.221	733.77	1,197.1	1,197.9	
76	2.345	679.56	1,227.9	1,214.7	
77	2.354	391.11	270.37	229.77	
103	2.514	371.37	168.86	134.63	

Gambar 4. 83 Hasil angka safety factor Elv mercu spillway bagian hilir (alternatif II)



Slip Surfaces

All slip surfaces

Select Slip Surface

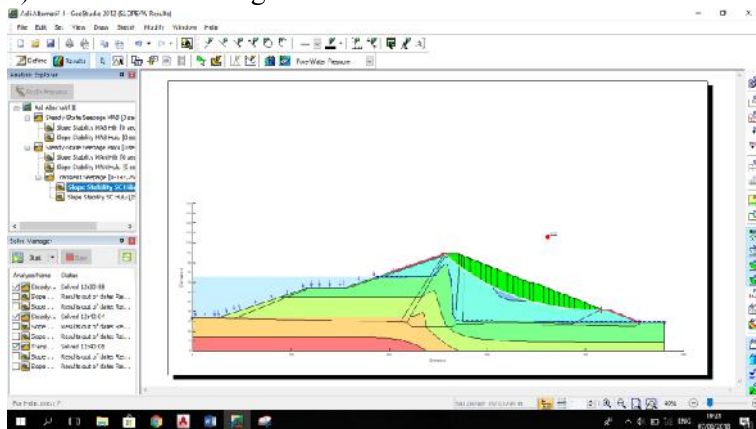
102 ☒ Auto select critical

Slip #	F of S	X Cen...	Y Center	Radius	Details
102	2.561	156.39	249	189.76	Critical
103	2.924	175.66	162.49	115.52	
77	3.019	131.1	278.56	228.61	
52	3.171	105.72	308.15	267.56	
27	3.210	87.078	334.97	300.17	

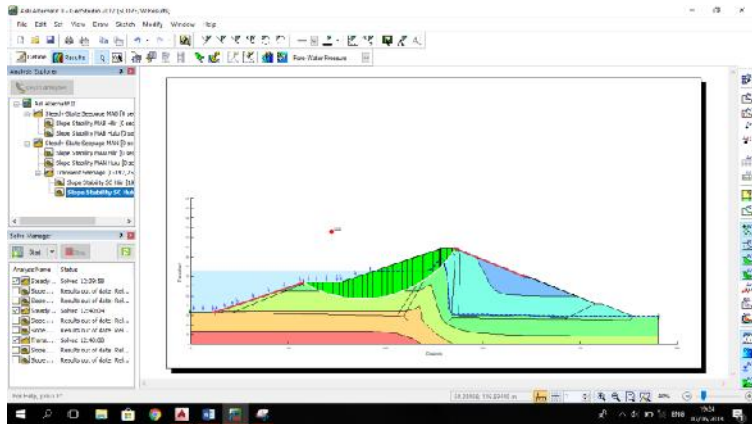
Gambar 4. 84 Hasil angka safety factor Elv mercu spillway bagian hulu (alternatif II)

- **Surut Cepat**

- a) Hasil analisa longsoran



Gambar 4. 85 Hasil analisa longsoran Surut Cepat bagian hilir (alternatif II)



Gambar 4. 86 Hasil analisa longsor Surut Cepat bagian hulu (alternatif II)

b) Untuk melihat angka *safety factor*

Slip Surfaces

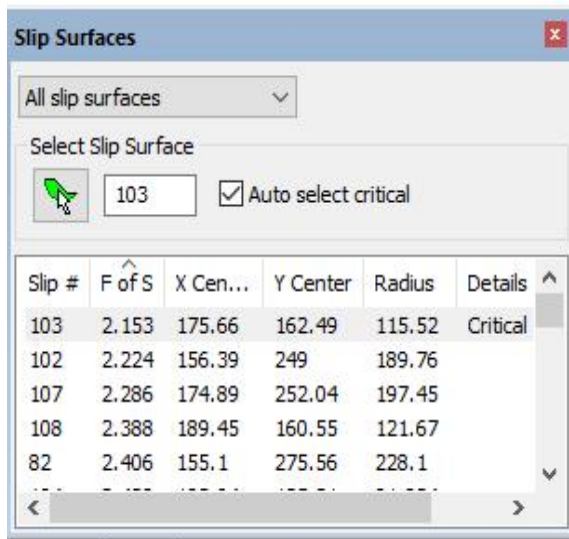
All slip surfaces

Select Slip Surface

☒ Auto select critical

Slip #	F of S	X Cen...	Y Center	Radius	Details
102	2.207	406.15	267.54	225.78	Critical
101	2.221	733.77	1,197.1	1,197.9	
76	2.349	679.55	1,227.9	1,214.8	
77	2.363	391.1	270.37	229.77	
103	2.514	371.37	168.86	134.63	

Gambar 4. 87 Hasil angka *safety factor* Surut Cepat bagian hilir (alternatif II)



Slip #	F of S	X Center	Y Center	Radius	Details
103	2.153	175.66	162.49	115.52	Critical
102	2.224	156.39	249	189.76	
107	2.286	174.89	252.04	197.45	
108	2.388	189.45	160.55	121.67	
82	2.406	155.1	275.56	228.1	

Gambar 4. 88 Hasil angka safety factor Surut Cepat bagian hulu (alternatif II)

4.2.7 Analisis Rembesan Dengan Perhitungan Manual

Selain melakukan analisis rembesan dengan menggunakan aplikasi, analisa ini dapat dicari dengan menggunakan rumus yang telah di jelaskan pada Bab II. Berikut adalah perhitungan analisa rembesan dengan data-data yang telah diketahui:

- Garis depresi bendungan

Diketahui data:

$$H = 94.61 \text{ m}$$

$$L_1 = 220.64 \text{ m}$$

$$L_2 = 209.48 \text{ m}$$

$$0.3 L_1 = 66.19 \text{ m}$$

Maka;

$$D = 0.3 l_1 + l_2$$

$$= 0.3 (220.64\text{m}) + 209.48\text{m}$$

$$= 275.67 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 Y_0 &= \sqrt{h^2 + d^2 - d} \\
 &= \sqrt{94.61^2 + 275.67^2 - 275.67} \\
 &= 15.78 \text{ m} \\
 a + \Delta a &= \frac{Y_0}{1 - \cos \alpha} = 102.69 \text{ m} \\
 A_0 &= \frac{y_0^2}{2} \\
 &= 7.89 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan koordinat parabola dapat dicari dengan rumus berikut:

$$Y = \sqrt{2Y_0 \cdot X + Y_0^2} = \sqrt{126,95X + 4028,82}$$

$$y_0^2 = 249.11$$

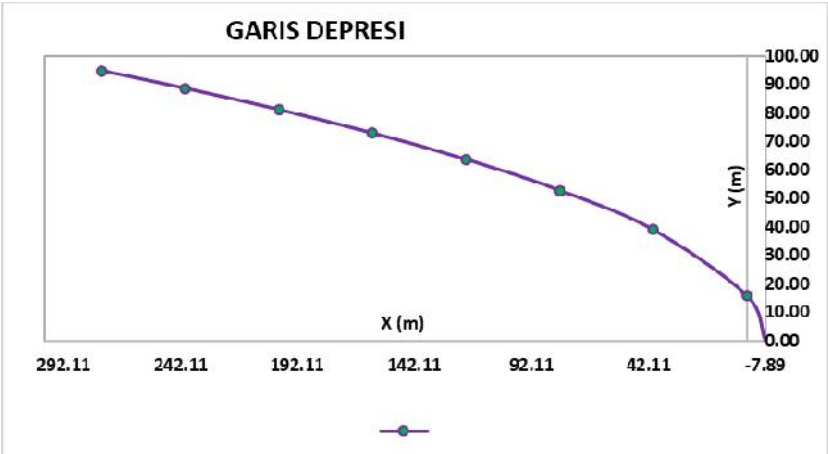
$$2y_0 = 249.11$$

Pada rumus tersebut dapat dicari dengan cara permisalan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Table 4. 7 Perhitungan koordinat parabola

X (m)	Y (m)
-7.89	0.00
0	15.78
40	38.88
80	52.67
120	63.54
160	72.80
200	81.01
240	88.46
275.67	94.61

(sumber: perhitungan)



Gambar 4. 89 Grafik garis depresi bendungan

- Debit yang keluar pada bagian hilir bendungan
Untuk mencari debit dibutuhkan perhitungan koefisien ekivalensi, berikut perhitungannya:

$$k_z = \frac{L}{\frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + dst..}$$
$$k = \frac{210.84 \text{ m}}{8.09 \times 10^9}$$
$$= 2.61 \times 10^{-8} \text{ m/s (kondisi MAB pada desain Eksisting)}$$

Rekapan Keseluruhan hasil perhitungan koefisien ekivalensi dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 4. 8 Rekap perhitungan koefisien ekivalensi

No	Tipe Bendungan	Permodelan m3/det		
		MAB	MAN dan Deadstorage	Surut Cepat
1	Eksisting (Inti Tegak)	2.61 x 10 ⁻⁸	2.65 x 10 ⁻⁸	2.96 x 10 ⁻⁸
2	Alternatif I (Homogen)	6.28 x 10 ⁻⁵	6.62 x 10 ⁻⁵	7.56 x 10 ⁻⁵

Alternatif II				
3	(Inti Miring)	3.79×10^{-10}	6.32×10^{-8}	4.67×10^{-8}

(sumber: perhitungan)

Setelah mendapatkan nilai koefisien ekivalensi, maka dapat mencari berapa debit yang keluar pada bagian hilir bendungan. Berikut perhitungannya:

$$Q_f = \frac{N_f}{N_p} \cdot K \cdot H \cdot L$$

$$Q = \frac{1}{13} \times 2.61 \times 10^{-8} \times 94.61 \times 210.84$$

$$= 4 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det (kondisi MAB pada desain Eksisting)}$$

Rekapan keseluruhan hasil perhitungan debit yang keluar pada bagian hilir bendungan dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 4. 9 Rekap perhitungan debit yang keluar pada bagian hilir bendungan

No	Tipe Bendungan	Permodelan m3/det		
		MAB	MAN dan Deadstorage	Surut Cepat
1	Eksisting (Inti Tegak)	4.00×10^{-5}	4.40×10^{-5}	4.92×10^{-5}
2	Alternatif I (Homogen)	1.04×10^{-2}	1.10×10^{-2}	1.20×10^{-2}
3	Alternatif II (Inti Miring)	6.00×10^{-7}	1.00×10^{-4}	7.42×10^{-5}

(sumber: perhitungan)

- Debit yang masuk pada drainase tubuh bendungan

$$Q = k.i.A$$

$$Q = 5.05 \times 10^{-6} \text{ m/det} \times 0.81 \times 202.8 \text{ m}^2$$

$$= 8.28 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det (desain ekisting dan alternatif I)}$$

$$Q = 5.05 \times 10^{-6} \text{ m/det} \times 0.81 \times 229.9 \text{ m}^2$$

$$= 9.39 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det (alternatif II)}$$

- Kecepatan maksimum

$$V = k i$$

$$\begin{aligned} V &= 3.98 \times 10^{-9} \cdot 0.449 \\ &= 1.79 \times 10^{-9} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Rekapan hasil perhitungan kemiringan (i) dan kecepatan maximum (v) tiap material dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 4. 10 Rekap perhitungan i tiap kondisi

Kondisi	i
MAB	0.449
MAN dan Deadstorage	0.424
Surut Cepat	0.281

(sumber: perhitungan)

Table 4. 11 Rekap perhitungan kecepatan tiap material

Material	V (m/s)
RockToe	2.24×10^{-4}
Rip-rap	4.48×10^{-2}
Random	1.62×10^{-4}
Filter	2.27×10^{-6}
Kedap	1.79×10^{-9}

(sumber: perhitungan)

- Waktu pengosongan tangki atau surut cepat

Untuk perhitungan durasi surut cepat dihitung dari elevasi mercu spillway sampai elevasi intake (+175.00 sampai +192.10). Dapat dihitung menggunakan rumus:

$$t = \frac{2 A (H1)^{1/2}}{Cd \alpha \sqrt{2g}}$$

dimana,

$$A = 12166.86 \text{ m}^2$$

$$H = 192.1 \text{ m} - 175 \text{ m}$$

$$= 17.1 \text{ m}$$

$C_d = 0,62$ (Hidraulika I, 2012)

$\alpha = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$

$= 4 \text{ m}^2$ (luas lubang intake)

$g = 9,8 \text{ m/det}^2$

sehingga,

$$t = \frac{2AH1^{1/2}}{Cd\alpha\sqrt{2g}}$$

$$t = \frac{2 * 12166,68 * 17,1^{1/2}}{0,62 * 4 * \sqrt{2 * 9,8}}$$

$$t = 9164,88 \text{ det} \approx 61.1 \text{ hari}$$

Hasil tersebut dapat di inputkan ke aplikasi geostudio pada kondisi surut cepat dengan memilih *analisis type transient* kemudian pada pilihan *parent* masukkan keadaan awal rembesan atau pada kali ini keadaan MAN yang sudah dihitung sebelumnya, lalu pada bar *Time* dimasukkan waktu perubahan yang juga sudah dihitung sebelumnya.

4.2.8 Analisis Stabilitas Dengan Perhitungan Manual

Selain menganalisis menggunakan program bantu geostudio, analisis ini dapat dicari menggunakan perhitungan manual yang mana rumusnya dapat dilihat pada bab II. Hasil dari perhitungan ini untuk mengoreksi hasil *safety factor* dari aplikasi geostudio. Berikut perhitungan manual analisis stabilitas longsoran bagian hilir pada desain Eksisting dengan kondisi MAB:

Table 4. 12 Rekap perhitungan manual analisis stabilitas longsor

Irisan	Luas A	γ	W	Sudut	Cos α	Sin α	Tan α	Sec α	WSin α	$\Delta L n = b$		Sec α /1+ (Tan ϕ Tanu/Fs)		Tan ϕ	W Tan ϕ	C.b	$\Sigma (m + n)$
	m ²	t/m ³	$\gamma \times A$	α	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	l/k		
1	77.66	1.73	134.12								1.01	0.33	44.10	1075.92	1127.16		
	48.95	1.81	88.41	26.29	0.90	0.44	0.49	1.12	358.27	8.03	0.89	0.76	66.86	322.35	347.55		
	284.23	1.74	493.42								1.09	0.08	38.08	188.39	246.34		
	41.19	2.26	92.93								0.87	0.84	77.98	0.00	68.14		
2	505.21	2.26	1139.76	32.30	0.85	0.53	0.63	1.18	625.26	11.83	1.01	0.33	374.80	951.41	1334.67		
3	17.49	1.74	30.36								0.89	0.76	22.96	285.05	275.04		
	586.66	2.26	1323.50	35.00	0.82	0.57	0.70	1.22	779.64	12.21	1.01	0.33	435.22	1095.83	1540.81		
4	20.60	1.74	35.76								0.89	0.76	27.04	328.32	317.32		
	375.44	2.26	846.99	25.18	0.90	0.43	0.47	1.11	385.15	11.05	1.01	0.33	278.53	1216.55	1504.61		
	33.56	1.74	58.27								0.89	0.76	44.07	364.49	364.82		
				Jumlah						2148.32	43.12	9.56	5.26	1409.65	5828.30	7126.47	

Dari rekap tabel di atas, maka dapat dihitung F_s dari bendungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{\sum (C.b + W \tan \phi) 1/m\alpha}{\sum W \sin \alpha} \\
 &= \frac{7126.47}{2148.32} \\
 &= 3.317 \geq 1.5 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

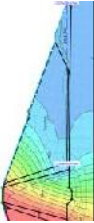
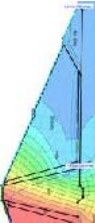
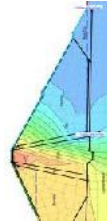
4.3 Hasil Analisa

Dari semua analisis yang telah dilakukan pada desain bendungan dengan permodelan yang ditentukan, maka didapatkan hasil dari analisis sebagai berikut.

4.3.1 Rembesan (SEEP/W)




Perhitungan analisis rembesan akan diinput kan pada perhitungan analisis stabilitas longsoran secara langsung, dengan begitu diharapkan perhitungan stabilitas yang didapat akan lebih akurat. Pada analisis rembesan ini didapatkan hasil berupa pola rembesan, kecepatan maksimal, debit yang masuk pada drainase tubuh bendungan, dan debit yang keluar pada bagian hilir bendungan. Hasil analisa rembesan pada tiap desain dengan permodelan yang ditentukan memiliki perbedaan pada pola rembesan, kecepatan maksimal, debit pada drainase tubuh bendungan, dan debit yang keluar pada bagian hilir bendungan. Dimana hasil analisa rembesan pada tiap desain bendungan dengan permodelan yang ditentukan dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 4. 13 Rekap hasil analisa desain Eksisting (Inti Tegak)

No	Permodelan	Pola Rembesan	Keterangan		
			Kecepatan Max	Debit Drainase	Debit Hilir
1	Muka Air Banjir		$7.75 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$	$1.5306 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$	$2.7207 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$
2	Muka Air Normal dan Deadstorage		$7.44 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$	$1.1658 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$	$2.6119 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$
3	Surut Cepat		$4.94 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$	$1.1554 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$	$2.6116 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$

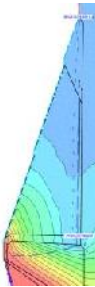
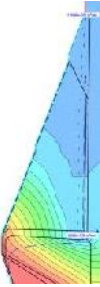
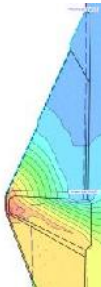
(sumber: perhitungan)

Table 4. 14 Rekap hasil analisa desain Alternatif I (Homogen)

Permodelan	Keterangan			
	Pola Rembesan	Kecepatan Max	Debit Drainase	Debit Hilir
Muka Air Banjir		5.47×10^{-4} $m^3/detik$	0.0001377 $m^3/detik$	0.0019165 $m^3/detik$
Muka Air Normal dan Deadstorage		5.21×10^{-4} $m^3/detik$	0.00021544 $m^3/detik$	0.0017548 $m^3/detik$
Surut Cepat		4.62×10^{-4} $m^3/detik$	0.00019561 $m^3/detik$	0.0017536 $m^3/detik$

(sumber: perhitungan)

Table 4. 15 Rekap hasil analisa desain Alternatif II (Inti Miring)

No	Permodelan	Pola Rembesan	Keterangan		
			Kecepatan Max	Debit Drainase	Debit Hilir
1	Muka Air Banjir		$9.14 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$	$6.2616 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$	$6.4578 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{detik}$
2	Muka Air Normal dan Deadstorage		$6.90 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{detik}$	$8.858 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{detik}$	$6.1193 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{detik}$
3	Surut Cepat		$4.49 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$	$1.3072 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$	$6.1143 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{detik}$

(sumber: perhitungan)

Dapat dilihat pada tabel diatas, bahwa pada tiap desain bendungan memiliki pola rembesan dan nilai yang berbeda-beda.

- Kecepatan maksimal rembesan

Pada kondisi MAB diketahui bahwa kecepatan maksimal terdapat pada bendungan tipe homogen yaitu 5.47×10^{-4} m/det, sedangkan pada kondisi MAN dan *Deadstorage* kecepatan maksimal terjadi pada bendungan tipe homogen yaitu 5.21×10^{-4} m/det, dan pada kondisi surut cepat kecepatan maksimal terjadi pada bendungan tipe homogen yaitu 4.62×10^{-4} m/det.

- Debit yang masuk pada drainase tubuh bendungan

Pada kondisi MAB diketahui bahwa debit yang paling efektif yang masuk pada drainase tubuh bendungan adalah bendungan tipe inti tegak dengan debit sebesar 1.53×10^{-6} m³/det, sedangkan pada kondisi MAN dan *Deadstorage* debit yang paling efektif terjadi pada bendungan tipe inti miring dengan debit sebesar 8.86×10^{-8} m³/det, dan pada kondisi surut cepat debit yang paling efektif terjadi pada bendungan tipe inti miring sebesar 1.31×10^{-6} m³/det.

- Debit yang keluar pada bagian hilir bendungan.

Pada kondisi MAB diketahhu debit rembesan yang paling efektif saat keluar pada bagian hilir bendungan adalah bendungan tipe inti miring dengan debit sebesar 6.46×10^{-11} m³/det, sedangkan pada kondisi MAN dengan *Deadstorage* debit yang paling efektif terdapat di bendungan tipe inti miring dengan debit sebesar 6.12×10^{-11} m³/det, dan pada kondisi surut cepat debit yang paling efektif terjadi pada bendungan tipe inti miring dengan debit sebesar 6.11×10^{-11} m³/det.

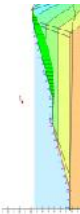
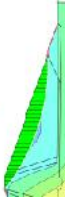

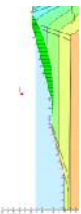
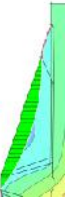
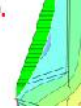
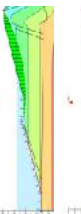
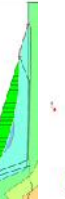
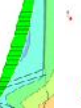
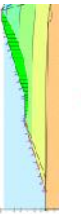
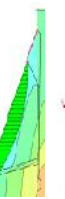
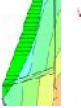
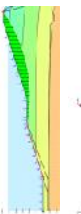
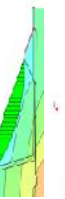
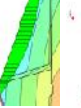
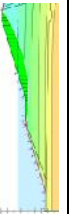
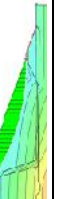
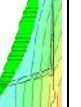
Untuk melihat hasil gambar analisa geostudio, lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran gambar A4.

4.3.2 Stabilitas Longsoran (SLOPE/W)

Perhitungan analisis stabilitas longsoran pada bendungan dilakukan untuk mendapatkan angka *safety factor* yang mana angka keamanan tersebut mengacu pada SNI 2016. Pada SNI 2016 dijelaskan bahwa, pada permodelan MAB dan MAN dengan *Deadstorage* mencakup kondisi aliran langgeng dengan FK 1.5, sedangkan pada permodelan surut cepat mencakup kondisi pengoprasian waduk dengan FK 1.3.

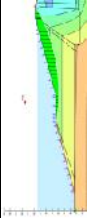
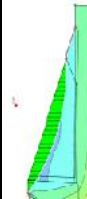
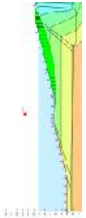
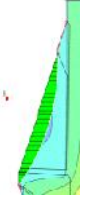
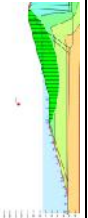
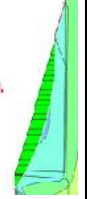
Pada analisis stabilitas longsoran bendungan didapatkan angka *safety factor* pada bagian hulu dan hilir. Angka tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 4. 16 Rekap hasil analisa stabilitas pada semua desain tipe bendungan

No.	Desain Bendungan	Kondisi Muka Air		Stabilitas Longsor			SNI 2016	
		SF Hulu	Bentuk	Bentuk	SF Hilir	Bentuk	SF	Keterangan
1	MAB	2.714			2.189		1.5	OK
	Ekisting (Inti Tegak)	2.600			2.190		1.5	OK
	Surut Cepat (dari MAN ke Intake)	2.077			2.189		1.3	OK
2	MAB	2.990			2.188		1.5	OK
	Alternatif I (Homogen)	2.883			2.210		1.5	OK
	Surut Cepat (dari MAN ke Intake)	1.863			2.219		1.3	OK

(sumber: perhitungan)

Table 4. 17 Rekap hasil analisa stabilitas pada semua desain tipe bendungan (lanjutan)

No.	Desain Bendungan	Kondisi Muka Air	Stabilitas Longsor			SNI 2016	
			SF Hulu	Bentuk	SF Hilir	Bentuk	SF Keterangan
3	Alternatif II (Inti Miring)	MAB	2.729		2.207		1.5 OK
		MAN dan Dead Storage	2.561		2.207		1.5 OK
		Surut Cepat (dari MAN ke Intake)	2.030		2.207		1.3 OK

(sumber: perhitungan)

Dengan hasil analisa stabilitas pada tabel di atas, maka dapat diketahui bahwa pada permodealan kondisi muka air semua tipe bendungan dapat dikatakan aman terhadap longsoran karena memiliki angka *safety factor* yang lebih besar dibandingkan dengan SNI 2016.

Disamping itu dapat ditarik satu tipe bendungan dengan angka *safety factor* yang efektif dimana angka tersebut dapat dicari yang terdekat dengan angka *safety factor* pada SNI 2016. Untuk bagian hilir bendungan angka *safety factor* yang paling efektif terjadi pada bendungan tipe inti tegak, sedangkan pada bagian hulu bendungan angka *safety factor* yang paling efektif terjadi pada bendungan tipe inti miring.

4.3.3 Kuantitas Bahan Penyusun Tubuh Bendungan

Kuantitas bahan penyusun tubuh bendungan dapat dicari dengan cara menghitung luasan pada setiap material. Pada desain eksisting (Inti Tegak) dan Alternatif II (Inti Miring) terdapat 5(lima) material penyusun, sedangkan pada desain Alternatif I (Homogen) hanya terdapat 2(dua) material penyusun. Kuantitas bahan tubuh bendungan dapat dilihat pada tabel berikut.

Table 4. 18 Rekap perhitungan volume material penyusun bendungan

No	Desain	Material Penyusun (m ³)				
		Core	Filter	Random	Riprap	RockToe
1	Ekisting (Inti Tegak)	530,079.75	216,649.18	2,651,474.25	132,401.39	164,571.56
2	Altarnatif I (Homogen)	-	131,546.49	3,256,682.99	132,401.39	164,571.56
3	Alternatif II (Inti Miring)	557,190.56	236,482.30	2,649,270.35	132,401.39	164,571.56

(sumber: perhitungan)

Dapat dilihat pada tabel diatas bawasannya pada setiap desain tubuh bendungan memiliki volume yang berbeda akan tetapi memiliki nilai volume yang sama pada rip-rap dan rocktoe.

Tujuan perhitungan ini adalah untuk mengetahui berapa besar volume material penyusun bendungan pada setiap desainnya.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Pada tugas akhir ini analisis rembesan dan analisis stabilitas pada bendungan dapat dihitung dengan menggunakan program bantu geo-studio 2012. Analisis tersebut dilakukan dengan cara menginput koordinat dari AutoCAD dan menginput data material yang ada. Pada aplikasi geo-studio terdapat banyak metode yang mana pada tiap metode memiliki keunggulan sendiri. Analisis menggunakan geo-studio lebih cepat dan mudah dibandingkan dengan analisis dengan cara perhitungan manual serta hasil yang didapat analisis menggunakan geo-studio lebih efektif dibanding dengan cara manual.
2. Hasil dari analisis rembesan menggunakan aplikasi geo-studio menunjukkan bahwa desain alternatif II lebih efektif dibandingkan dengan desain eksisting dan desain alternatif I, yang mana pada desain alternatif II (Inti Miring) memiliki hasil yang lebih kecil pada setiap permodelannya dibandingkan dengan desain yang lain. Pada permodelan yang pertama yaitu MAB memiliki kecepatan maksimal sebesar 9.14×10^{-7} m/s dengan debit yang merembes pada drainase tubuh bendungan sebesar 6.26×10^{-7} m³/dt serta debit yang keluar pada bagian hilir bendungan sebesar 6.46×10^{-11} m³/dt. Sedangkan pada permodelan kedua yaitu MAN dan *Deadstorage* memiliki kecepatan maksimal sebesar 6.90×10^{-7} m/s dengan debit yang merembes pada drainase tubuh bendungan sebesar 8.86×10^{-7} m³/dt serta debit yang keluar pada bagian hilir bendungan sebesar 6.12

$\times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{dt}$. Kemudian pada permodelan ketiga yaitu Surut Cepat memiliki kecepatan maksimal sebesar $4.49 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ dengan debit yang merembes pada drainase tubuh bendungan sebesar $1.31 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}$ serta debit yang keluar pada bagian hilir bendungan sebesar $6.11 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{dt}$.

3. Hasil dari analisis stabilitas longsor menggunakan aplikasi geo-studio menunjukkan bahwa pada semua desain dengan permodelan yang telah ditentukan dapat dikatakan aman dikarenakan telah memenuhi persyaratan dari SNI 2016. Akan tetapi terdapat dua desain yang memiliki *safety factor* lebih efektif pada setiap permodelannya diantaranya pada desain eksisting yang memiliki angka keamanan yang lebih efektif pada bagian hilir dibandingkan dengan desain alternatif II yaitu: 2.189 (MAB), 2.190 (MAN dan *Deadstorage*), dan 2.189 (Surut Cepat). Sedangkan pada bagian hulu desain alternatif II memiliki *safety factor* yang lebih efektif dibanding dengan desain eksisting yaitu: 2.719 (MAB), 2.561 (MAN dan *Deadstorage*), dan 2.030 (Surut Cepat).
4. Dapat disimpulkan bahwa tipe desain bendungan yang lebih efektif pada semua permodelan dan analisa adalah desain alternatif II tipe inti miring dibandingkan dengan desain eksisting dan desain alternatif I. Pada desain tersebut memiliki efektifitas pada analisis rembesan serta analisis stabilitas, tetapi pada analisis stabilitas angka *safety factor* pada bagian hilir desain ini lebih tinggi sedikit dari desain eksisting akan tetapi lebih rendah pada bagian hulu. Pada dasarnya analisa stabilitas desain alternatif II telah memenuhi syarat dari SNI 2016 dan dapat dikatakan aman dari longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, 2016. *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan (SNI 8064 : 2016)*, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Soedibyo, 1993. *Teknik Bendungan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sukirman, 2014. "Analisis Rembesan pada Bendung *Type* Urugan Melalui Uji Hidrolik di Laboratorium Hidro FT. UNSRI" *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(2):238-244.
- Sunday, Devi dan Azmeri. 2013. "Kajian Kestabilan Tubuh Waduk Rukoh Kecamatan Titieu Keumala Kabupaten Pidie (109G)". Makalah disajikan dalam Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7) di Universitas Sebelas Maret (UNS) Surakarta, 24-26 Oktober 2013.
- Suyono S. dan Kensaku T., 1981. *Bendungan Type Urugan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Triatmodjo, Bambang. 2012. *Hidraulika I*. Yogyakarta: Beta Offset.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Arief Yudho Wicaksono merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Lahir di Surabaya pada tanggal 12 Januari 1996. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Ketabang III Surabaya, lalu melanjutkan di SMPN 3 Surabaya, lalu di SMAN 9 Surabaya, dan telah menyelesaikan pendidikan Diploma

III Teknik Infrastruktur Sipil ITS pada tahun 2017. Setelah lulus dari Diploma III pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Program Studi Diploma IV pada tahun 2017, terdaftar dengan NRP 10111715000037. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ini, penulis mengambil bidang studi Bangunan Air. Penulis pernah mengikuti berbagai kepanitiaan yang ada selama menjadi mahasiswa. Selain itu, penulis pernah mengikuti acara yang diadakan oleh Fakultas dan memperoleh penghargaan diantaranya adalah Runner Up Spartan FTSP dibidang Bola Voli dan Runner Up Olimpiade FTSP dibidang Bola Voli. Penulis dapat dihubungi via email ariefyw96@gmail.com.